

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

濕式清洗槽有害氣體之危害控制

The Hazard Control of Harmful Gas in
the Wet Bench

研 究 生：鄭為陽

指導教授：傅武雄 博士

中華民國九十九年七月

濕式清洗槽有害氣體之危害控制

The Hazard Control of Harmful Gas in the Wet Bench

研究生：鄭為陽

Student: Wei-Yang Cheng

指導教授：傅武雄

Adivisor: Wu-Shung Fu

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文



Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Mechanical Engineering

July 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

濕式清洗槽有害氣體之危害控制

研究生:鄭為陽

指導教授:傅武雄

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘要

本文主要以套裝軟體 STAR-CD 以三維的方式模擬濕式清洗檯槽面無蓋子時的毒氣擴散情形，以及利用套裝軟體 FLUENT 以二維的方式模擬清洗檯槽面有一可轉動蓋子，觀察蓋子轉動時毒氣的擴散情形。將結果做成動畫以觀察整體毒氣擴散的過程。

主要探討在不同尺寸的抽風口對應不同的抽風流量時，找出最適合的流量可使毒氣沉積在槽體底部下方的區域，避免毒氣上捲越過前擋牆和擋板擴散至工作人員，以保障工作人員的安全；並且找出蓋子在不同的轉速下，毒氣被完全抽走的對應時間。綜合所獲得的結果，當抽風口流量不足時，毒氣會上捲擴散；並在蓋子轉速越快時，於蓋子前端的毒氣被擾動的程度越大，使此部分的毒氣反捲至蓋子上方的範圍亦越廣。

The Hazard Control of Harmful Gas in the Wet Bench

Student: Wei-Yang Cheng

Advisor: Wu-Shung Fu

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

The aim of this simulation is to discuss the different size of exhaust with different flow rate, finding the best flux that can make the gas stored at the under of trough bottom. Preventing the gas stirred up and moved upward then passes the front wall and plank to the workers. Protecting the safety of the workers. Another aim is to find out the final exhausted time for the different rotating speed of cover. Combining the results, when the flow rate of exhaust is not big enough, the gas will stir up and diffuse. When the rotating speed is faster, the gas at the front side is stirred harder and covered wider to the cover.

The STAR-CD is adopted to simulate the gas diffusion from the trough of the wet bench without cover in 3D and the FLUENT is adopted to simulate the gas diffusion from the trough of the wet bench with cover in 2D. Making the animation for observing the whole diffusion process.

目錄

| | |
|-------------------------------|-----|
| 摘要..... | i |
| Abstract | ii |
| 目錄..... | iii |
| 表目錄..... | iv |
| 圖目錄..... | v |
| 符號索引..... | x |
| 致謝..... | xi |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 第二章 物理模式..... | 16 |
| 2-1 物理模式..... | 16 |
| 2-2 分析假設與統御方程式..... | 16 |
| 2-3 邊界條件..... | 19 |
| 第三章 數值方法..... | 27 |
| 3-1 數值方法..... | 27 |
| 3-2 PISO 數值計算..... | 29 |
| 3-3 暫態滑移網格(sliding mesh)..... | 31 |
| 第四章 結果與討論..... | 44 |
| 4-1 槽面無蓋子：..... | 44 |
| 4-2 移動網格部分：..... | 66 |
| 第五章 結論..... | 130 |
| 第六章 未來工作方向..... | 132 |
| 參考文獻..... | 133 |

表目錄

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 表 1-1 污染物可能的來源與其影響度..... | 9 |
| 表 1-2 92 年至今高科技廠工安事故..... | 12 |
| 表 3-1 FLUENT 與 STAR CD 移動網格模擬之比較..... | 39 |
| 表 4-1 清洗台運作流程..... | 95 |
| 表 4-2 各轉速下蓋子打開至 51.6 度時蓋子之受力數據..... | 128 |
| 表 4-3 各轉速下蓋子反轉至 51.6 度時蓋子之受力數據..... | 128 |



圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1-1 清洗槽之機械手臂 | 8 |
| 圖 1-2 STANDARD WET BENCH | 10 |
| 圖 1-3 WET BENCH | 10 |
| 圖 1-4 化學石英槽 | 11 |
| 圖 1-5 | 11 |
| 圖 1-6 MEMS 微機電系統廠無塵室濕式晶圓清洗機起火 | 13 |
| 圖 1-7 MEMS 微機電系統廠無塵室濕式晶圓清洗機起火 | 14 |
| 圖 1-8 MEMS 微機電系統廠無塵室濕式晶圓清洗機起火 | 15 |
| 圖 2-1 清洗檯示意圖 | 23 |
| 圖 2-2(a) 清洗檯尺寸圖 | 24 |
| 圖 2-2(b) 清洗檯尺寸圖 | 25 |
| 圖 2-2(c) 2D 清洗檯與蓋子示意圖 | 26 |
| 圖 3-1 相鄰網格中心點及離散面相關位置示意圖 | 32 |
| 圖 3-2 計算流程圖 | 33 |
| 圖 3-3 對流通量示意圖 | 34 |
| 圖 3-4 PISO 示意圖 | 35 |
| 圖 3-5 滑移網格進行方式說明示意圖 | 36 |
| 圖 3-6 H-TYPE、C-TYPE、O-TYPE 之結構性網格 | 38 |
| 圖 3-7 四邊形與三角形之非結構網格 | 38 |
| 圖 3-8 Remeshing 法維持高網格品質圖 | 38 |
| 圖 3-9 STAR CD 兩方塊平移系統之模型圖 | 40 |
| 圖 3-10 Block meshing strategy | 41 |
| 圖 3-11 Auxiliary cell layer creation and removal strategy | 41 |
| 圖 3-12 Illustration of relative mesh movement | 42 |

| | |
|--|----|
| 圖 3-13 Cell layers to be added and removed | 42 |
| 圖 3-14 使用 LAYERING 法的模型與 2 時間點的網格拉伸情形圖 | 43 |
| 圖 4-1 尖頭槽中央截面濃度分佈圖 | 48 |
| 圖 4-2 兩槽間截面濃度分佈圖 | 49 |
| 圖 4-3 方型槽中央截面濃度分佈圖 | 50 |
| 圖 4-4 尖頭槽中央截面速度向量分佈圖 | 51 |
| 圖 4-5 兩槽間截面速度向量分佈圖 | 52 |
| 圖 4-6 方型槽中央截面速度向量分佈圖 | 53 |
| 圖 4-7 尖頭槽中央截面濃度分佈圖 | 54 |
| 圖 4-8 兩槽間截面濃度分佈圖 | 55 |
| 圖 4-9 方型槽中央截面濃度分佈圖 | 56 |
| 圖 4-10 尖頭槽中央截面速度向量分佈圖 | 57 |
| 圖 4-11 兩槽間截面速度向量分佈圖 | 58 |
| 圖 4-12 方型槽中央截面速度向量分佈圖 | 59 |
| 圖 4-13 尖頭槽中央截面濃度分佈圖 | 60 |
| 圖 4-14 兩槽間截面濃度分佈圖 | 61 |
| 圖 4-15 方型槽中央截面濃度分佈圖 | 62 |
| 圖 4-16 尖頭槽中央截面速度向量分佈圖 | 63 |
| 圖 4-17 兩槽間截面速度向量分佈圖 | 64 |
| 圖 4-18 方型槽中央截面速度向量分佈圖 | 65 |
| 圖 4-19 STAR CD 旋轉板子模型圖 | 67 |
| 圖 4-20 板子示意圖 | 67 |
| 圖 4-21 0.1 秒時網格拉伸與壓縮圖 | 69 |
| 圖 4-22 1.3 秒時網格拉伸與壓縮圖 | 69 |
| 圖 4-23 2.5 秒時網格拉伸與壓縮圖 | 70 |
| 圖 4-24 3.7 秒時網格拉伸與壓縮圖 | 70 |

| | |
|--|----|
| 圖 4-25 4.9 秒時網格拉伸與壓縮圖..... | 71 |
| 圖 4-26 5.9 秒時網格拉伸與壓縮圖..... | 71 |
| 圖 4-27 0.1 秒時速度向量圖..... | 72 |
| 圖 4-28 1.3 秒時速度向量圖..... | 72 |
| 圖 4-29 2.5 秒時速度向量圖..... | 73 |
| 圖 4-30 3.7 秒時速度向量圖..... | 73 |
| 圖 4-31 4.9 秒時速度向量圖..... | 74 |
| 圖 4-32 5.9 秒時速度向量圖..... | 74 |
| 圖 4-33 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 10 度濃度分佈圖..... | 78 |
| 圖 4-34 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 30 度濃度分佈圖..... | 79 |
| 圖 4-35 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 40 度濃度分佈圖..... | 80 |
| 圖 4-36 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至約 30 度濃度分佈圖.... | 81 |
| 圖 4-37 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時濃度分佈圖..... | 82 |
| 圖 4-38 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 10 度壓力分佈圖..... | 83 |
| 圖 4-39 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 30 度壓力分佈圖..... | 84 |
| 圖 4-40 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 40 度壓力分佈圖..... | 85 |
| 圖 4-41 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至約 30 度壓力分佈圖.... | 86 |
| 圖 4-42 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時壓力分佈圖..... | 87 |
| 圖 4-43 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 10 度速度流線分佈圖.. | 88 |
| 圖 4-44 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 30 度速度流線分佈圖.. | 89 |
| 圖 4-45 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 40 度速度流線分佈圖.. | 90 |
| 圖 4-46 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至約 30 度速度流線分佈圖 | 91 |
| 圖 4-47 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時速度流線分佈圖..... | 92 |
| 圖 4-48 蓋子下緣下方 0.1mm 處轉動過程濃度變化-時間三轉速比較圖 | 93 |
| 圖 4-49 蓋子自轉動至 20 秒抽風口濃度-時間三轉速比較圖 | 94 |
| 圖 4-50 全過程抽風口濃度率-時間三轉速比較圖 | 97 |

| | |
|--|-----|
| 圖 4-51 轉速 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 後段抽風口濃度再次升高之濃度分佈比較圖 | 98 |
| 圖 4-52 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 25.8° 濃度分佈圖..... | 101 |
| 圖 4-53 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 51.6° 濃度分佈圖..... | 102 |
| 圖 4-54 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 82.5° 濃度分佈圖..... | 103 |
| 圖 4-55 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子定住 12 秒後濃度分佈圖..... | 104 |
| 圖 4-56 系統進風與抽風至穩定濃度分佈圖 | 105 |
| 圖 4-57 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子反轉至 51.6° 濃度分佈圖... | 106 |
| 圖 4-58 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子反轉至 25.8° 濃度分佈圖... | 107 |
| 圖 4-59 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子閉合時濃度分佈圖..... | 108 |
| 圖 4-60 系統最終濃度分佈圖 | 109 |
| 圖 4-61 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 25.8° 壓力分佈圖..... | 110 |
| 圖 4-62 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 51.6° 壓力分佈圖..... | 111 |
| 圖 4-63 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 82.5° 壓力分佈圖..... | 112 |
| 圖 4-64 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子定住 12 秒後壓力分佈圖..... | 113 |
| 圖 4-65 系統進風與抽風至穩定壓力分佈圖 | 114 |
| 圖 4-66 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子反轉至 51.6° 壓力分佈圖... | 115 |
| 圖 4-67 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子反轉至 25.8° 壓力分佈圖... | 116 |
| 圖 4-68 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子閉合時壓力分佈圖..... | 117 |
| 圖 4-69 系統最終壓力分佈圖 | 118 |
| 圖 4-70 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 25.8° 速度流線分佈圖. | 119 |
| 圖 4-71 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 51.6° 速度流線分佈圖. | 120 |
| 圖 4-72 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 82.5° 速度流線分佈圖. | 121 |
| 圖 4-73 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子定住後 12 秒速度流線分佈圖. | 122 |
| 圖 4-74 系統進風與抽風至穩定速度流線分佈圖 | 123 |

| | |
|---|-----|
| 圖 4-75 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 51.6 度速度流線分佈圖 | 124 |
| 圖 4-76 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 25.8 度速度流線分佈圖 | 125 |
| 圖 4-77 0.3 rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時速度流線分佈圖..... | 126 |
| 圖 4-78 系統最終速度流線分佈圖 | 127 |
| 圖 4-79 蓋子初始轉速 0.3rad/s 三時間點網格壓縮與拉伸情形圖 | 129 |
| 圖 4-80 裝有下排抽風口配置之三截面濃度分佈圖..... | 131 |

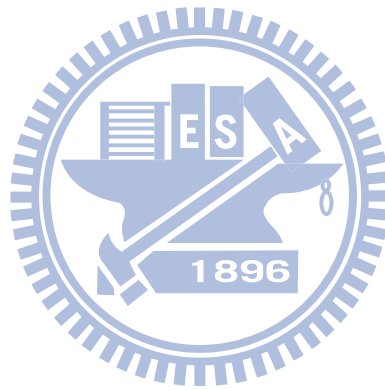


符號索引

| | | |
|---|----------------------------|----------------------|
| A | 面積 | |
| C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, $C_{\varepsilon 3}$, $C_{\varepsilon 4}$ | k- ε 紊流模式的經驗係數 | |
| $F_{h,j}$ | 於 x_j 方向上的能量擴散通量 | |
| \sqrt{g} | 特定公制張量 | |
| k | 紊流動能 | |
| p | 壓力 | $[\text{N m}^{-2}]$ |
| s_i | 動量源項 | |
| s_{ij} | 剪應變率張量 | |
| s_ϕ | 來源係數 | |
| t | 時間 | $[\text{sec}]$ |
| x_i | 卡式座標($i=1, 2, 3$) | |
| u | 流體切線速度 | $[\text{m s}^{-1}]$ |
| u_i | 流體在 x_i 方向的絕對速度 | $[\text{m s}^{-1}]$ |
| \tilde{u}_i | 流體與座標系統的相對速度 | $[\text{m s}^{-1}]$ |
| u_w | 壁面速度 | |
| V | 體積 | |
| 希臘符號 | | |
| Γ_ϕ | 擴散係數 | |
| μ | 黏滯係數 | |
| ρ | 密度 | $[\text{kg m}^{-3}]$ |
| μ_t | 紊流黏滯係數 | |
| σ_k , σ_ε | k- ε 紊流模式的經驗係數 | |
| τ_{ij} | 黏滯應力張量 | |
| ϕ | 代表任一獨立物理量 | |
| C | 濃度 | |

致謝

由衷感謝傅武雄老師這兩年來的指導，沒有傅老師的指引，我在流體力學的認知上會原地踏步，無法前進，更感謝傅老師讓我嘗試了 STAR CD 與 FLUENT 兩種套裝軟體，使我更熟悉套軟的操作，並且嘗試移動網格的模擬；也感謝這兩年中專業科目的授課老師，讓我對流體力學的認識更進一步。此外也感謝我的家人、同學、學長、學弟。他們總是在我遇到挫折時給我精神與學業上的幫助，要感謝的事實在太多，無法一一細述，總之除了感謝還是感謝，僅以本文獻給我的師長、家人與朋友。



第一章 緒論

半導體業已經成為台灣經濟發展主力，對於世界的經濟發展也有一定程度的影響力，2004 年，台灣晶圓代工佔全球半導體產能的比重 22%，根據 IC Insights 估計，晶圓代工佔全球半導體產能的比重將從 2003 年的 22%，增加到 2008 年的 35%[1]。濕式清洗檯(Wet Bench)是半導體廠必備的清洗機，圖 1-1~1-5 為一般清洗槽示意圖。隨著半導體產業對國內經濟重要性逐漸升高，高科技廠房普遍設計成本昂貴，廠房所使用的化學液體種類多且量大，故製程的安全工作環境的安全，更需要加強。隨著我國半導體產業越來越精緻化，若萬一發生火災事故，損失將非常巨大，而根據 Factory Mutual Global(FM)20 多年來的統計[2]，半導體廠房火災事故，以濕式化學清洗過程所產生的火災事故率最高，以加熱器出狀況為主要火災發生原因。美國 Factory Mutual (FM)針對 1986 年至 1996 年十年來災害統計[3]，FM 保險公司理賠之無塵室災害有記錄者共 260 件，以通風排氣系統占 80%以上，而機台災害則以濕式清洗檯占最高。此外，濕式清洗槽所使用的清洗液普遍具有易燃特性，且機殼本身材質為了要抗酸蝕所以通常為塑膠類(聚丙烯)製程燃載量高與機台的熱源一起運作時容易引起火災。幾年前日月光半導體中壢廠 A 棟發生大火[1]，原因疑似鍋爐爆炸引起火災；2001 年 5/12 凌晨汐止東方科學園區 A 棟 3 樓開始起火[1]，大火由下往上延燒，此大火造成多家廠商嚴重受創，至少 31 家全毀，236 家受害，東帝士、宏碁、味全等集團損失嚴重，而東帝士集團受創最深。估計損失超過 60 億元。再一則為 1997 年聯瑞半導體廠火災，損失嚴重[1]。半導體廠火災主要可分為(1)濕式清洗檯火災(2)可燃性塑材火災(3)電器設備火災(4)晶圓傳送站火災(5)矽甲烷氣體火災(5)製程排氣系統火災[4]。所以工作人員在操作時，必須非常謹慎小心。多數有關濕式清洗槽的論文都是關於滅火，陳[4]對無塵室火災模擬，得到對溫度場分布，在同樣的火源位置，在不同的 filter 送風速度下，風速越大則撒水器的作動距離會縮短，故撒水器需更加密集；對排煙而言，較佳的設計為利用天花板處排煙，

才能有效排煙，不至於使煙流擴散。陳[5]探討細水霧滅火系統，得知細水霧系統需具備無毒性、不影響環境、重量輕，方便使用，且此系統應用於濕式清洗檯要有適當的操作壓力，須在臨界壓力上才能有效滅火，最佳滅火噴頭為內外兩排式噴頭，另外，噴頭的位置與油盆火焰是否被遮蓋，對滅火有重要影響，遮蓋若覆蓋住火源會導致滅火效能降低，甚至失敗。Chen[6]等對濕式清洗檯的水霧效能分析，其團隊對丙酮所產生的火焰做分析，得到若單一針對個噴嘴相對於不同尺寸的火源（裝丙酮的 pan）實驗，發覺水霧熄滅小火源比大火源容易；對於噴嘴的分佈作實驗，得知對 pan 中央距離較近的分佈可以較容易滅火；在操作時存在臨界壓力，施予超過臨界壓力，容易滅火。濕式清洗槽洗淨的目的，主要是清除晶圓表面的髒污，在超大型積體電路(ULSI)製程中，晶圓洗淨的技術與潔淨度，是影響良率及可靠度，最重要的因素之一。晶圓清洗的過程，需要用到很多高濃度的化學品來洗。例如高純度的去離子水，或用高揮發性的有機溶劑(如異丙醇-IPA)來除濕乾化。清洗的技術，從早期的 RCA 晶圓清洗配方，至今無太大改變。目前的清洗製程可分為兩種，液相(濕式)清洗與氣相(乾式)，就清洗效率而言，濕式清洗對微粒子、有機物、金屬離子、自然氧化層都能有效清洗，一般而言，濕式清洗製程可分為[7][8][9][10][11][12]:

- (a) RCA Standard Clean (SC-1):應用在微粒子的清除，利用 NH_4OH 的弱鹼性來活化 Si 片表面，將其上的微粒子去除， NH_4OH 也具有強化合力，亦可去除部分金屬離子，一般以 $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:5\sim 1:2:7$ 的體積比例混合在 $75^\circ\text{C}\sim 85^\circ\text{C}$ 做 10~20 分鐘的浸泡清洗。
- (b) RCA Standard Clean (SC-2):應用在金屬離子的去除，利用 HCL 形成的活性離子易於跟金屬離子化合。以 $\text{HCL}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:6\sim 1:2:8$ 的體積比例混合於 $75^\circ\text{C}\sim 85^\circ\text{C}$ 做 10~20 分鐘的清洗。
- (c) Piranha Clean (SPM):主要用在有機物的清除。利用 H_2SO_4 的強氧化性來破壞有機物碳酸結構。一般是以 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=4:12$ 的體積比例混合在 130°C 做 10~15 分鐘的浸泡清洗。

- (d) Dilute HF Clean (DHF):主要是用在清洗矽晶表面的 SiO_2 層，因此氧化物層厚度約只有 1~1.5mm，一般使用經由稀釋處理的 HF 在室溫下跟 SiO_2 形成的 H_2SiF_6 去除。一般清洗 15~30 秒。

接下來介紹進階式濕式清洗技術，因為傳統式的清洗技術的潔淨度已不能滿足 ULSI 製程，近來有些改良方式，如在 SPM 配方中， H_2SO_4 : H_2O_2 從 2:1 調至 3:1 用來去除油脂的有機物；在 SC-1 步驟再加一道 1% HF/ H_2O ，可大量去除殘留在氧化矽層中的雜質。以下為增加潔淨度的方法：

- (a) 清洗容器。
- (b) 超純水系統:將傳統 Overflow Rinse 方式改成 Water Overflow Quenching 方式。
- (c) 雷磁超音波系統：此方法配合稀釋的 SC-1 配方可有效去除髒污。
- (d) 濺水花式方式：此方法結合 Spin-drying，增加晶片潔淨度。
- (e) 封閉化學清洗系統。

進階乾式清洗則為：

- (a) 超紫外線臭氧方式(Ultra-Violet Ozone Cleaning, 簡稱 UVOC):
主要為去除有機物及碳氫化合物，步驟為：(1)用稀釋氫氟酸浸幾秒(2)用超純水清洗(3)用氮氣吹乾(4)以 UVOC 方式清除污染物。
- (b) $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$ 氣態清洗。
- (c) H_2/Ar 電漿清洗法。
- (d) 加熱清潔法。

表 1.1 列舉了一般清洗過程的污染物與其影響。此外，濕式清洗檯在操作時，主要會有以下的危險：

- (1) 酸液危險: H_2SO_4 、 H_2O_2 等，都有產生酸氣飄散及液體外流的可能。
- (2) 電器危險:若出現電線短路或線路外露，易造成漏電進而引起火災，故需要經常性的維護。

(3) 機械危害:如機械手臂、門、及一些夾縫等,容易使工作人員受到機械應力造成的傷害。

(4) 冷卻系統:冷卻水若溢出,易產生觸電的危險,需小心。

(5) 高溫系統:馬達長時間運轉產生高溫,不可隨意觸摸。此外還有,俱生氧化層:會造成元件的接觸電阻增加。微粗糙度:粗糙度越大,會造成閘極氧化膜耐壓性不良,穿遂時的載子遷徙率變差。塵粒:會產生對光罩的影響,塵粒若黏在晶圓上,會造成部份區域無法依原設計製作元件。

濕式清洗會有以下問題產生:

- (a) 很容易生成異物。
- (b) 矽晶片旋乾較為困難。
- (c) 所需材料與機台成本高。
- (d) 化學廢棄物的處理。
- (e) 每次清洗的潔淨度會因所使用的化學藥品的使用次數而不同。

所探討的硬體部分,屬浸洗式化學洗淨站(Wet Chemical Cleaning Technology),此種技術已經完全自動化。一般而言,均設計放入兩個晶舟每個裝 25 片,在電腦上設定所需洗的程式,按下啟動,則由輸入端起機械手臂開始依設定的程式執行洗淨。逐槽清洗後,機械手臂會將洗淨後的晶圓送到輸出端。一般而言,濕式清洗臺的結構:

- (a) 槽體:主材料為石英、聚丙烯(PP)、聚偏二氟乙
烯(PVDF)、不鏽鋼等。大多採用雙槽設計,槽內
置入化學液,槽中通常還有裝置 Temperature sensor、Level sensor、
等裝置。
- (b) 加熱系統:為加熱器、溫度控制器、超溫保護裝置組合。有內嵌式(加
熱器放於化學槽中)、外接式(加熱器接於槽外,與液體迴路串通)、
交換式(利用冷熱液體能量交換)。
- (c) 機械手臂:利用機械手臂將晶片帶到清洗臺清洗,因為安全考量,設

計上要加裝安全互鎖。

- (d) 局部排氣:製程所產生的化學蒸氣會殘留在機台中，局部排氣裝置會把殘餘蒸氣抽出。
- (e) 滅火設備:熱偵測器、UV AIR 偵測器、CO₂ 滅火系統、細水霧滅火系統、灑水器、滅火器、消防砂、泡沫滅火設備。
- (f) 支援系統:供應系統的能量，如去離子水(DI WATER)、氮氣(N₂)等。

對於污染物的檢測，一般會使用幾種機台：

- (a) 晶圓表面的微粒:表面污染分析儀。
- (b) 晶圓表面的金屬污染物:全反射式 X 光螢光光譜儀。
- (c) 晶圓表面的有機污染物:熱托付常壓遊離質譜儀。
- (d) 晶圓表面的粗糙度:原子力顯微鏡。

一般的清洗製程如下：

開極氧化層成長前清洗：

SPM→QDR→DHF→QDR→SC-1→QDR→SC-2→QDR→DHF→QDR→SPIN DRY

一般標準清洗：

SC-1→QDR→SC-2→QDR→SPIN DRY

金屬鍍膜前清洗：

SC-1→QDR→SC-2→QDR→DHF→QDR→SPIN DRY

Si-Ge 製程之清洗：

SPM→QDR→SC-2→QDR→SPIN DRY

晶圓蝕刻後清洗：

SC-1→QDR→SPIN DRY

乾蝕刻後側壁高分子聚合物清除：

SC-1→QDR→SPIN DRY

在清洗槽中的化學藥品，大多為強酸、強鹼及高揮發性的有機溶劑。其蒸發的有毒氣體對工作人員具有潛在的危險。對於工作人員，如何利用流場計算模擬

(CFD)去得知在何種狀況下，可使有毒氣體擴散達至最低，使毒氣沉積於槽底或被抽風口抽出，不讓毒氣擴及工作人員的臉部，為本文主要研究目的。影響毒氣擴散的因素很多。陸等[13]利用數值預測濕式清洗檯上的混合對流分布，結果發現清洗過程如果使用同向吹吸式氣罩對工作人員有潛在的危險；使用逆向吹吸式氣罩或在槽縫罩上方加裝檔板則在任何吸氣速度及史密特數下，毒氣都可以得到良好的控制。陸等[13]假設清洗檯深度方向流場變化很小，且省略邊緣效應，將系統視為二維空間。Shu 等[14]研究出在清洗過程中，會牽涉到的危險現象包括溢流、滾沸、冒泡、兩相流膨脹、溫度升高、自動催化現象。彭[2]針對在清洗過程中過氧化氫不相容性的探討，得知實際清洗製程中，所使用的化學藥品有潛在的危害，當 SPM 製程藥品跟 IPA 混合後，可能會導致滾沸、溢流、雙相排放與非預期不相容反應的 n 皆反應型態，此種災害發生，僅有不到一分鐘的搶救時間，瞬間產生大量放熱等劇烈現象。多數論文皆探討濕式清洗檯火災意外的預防，但此篇主要在探討的是不同的抽氣速度對毒氣濃度分布的影響，與上三篇不同之處是將系統視為三維，且不考慮多種溶液混合情形，只考慮單一溶液毒氣擴散，並假設液面濃度為固定的 100%。建模先以 GAMBIT 軟體建模與切網格，再以 SRAR CD 軟體做 CFD 計算，最後以 FIELD VIEW 軟體做後處理。其中 STAR CD 的運算法則為 SIMPLE，差分方式為上風差分法，但 STAR CD 顯示圖片的效果較差，故使用 FIELD VIEW 做後處理，流場流動(包含濃度、速度、壓力等)皆可以做動畫處理。其動畫是用掃圖(截面)的方式呈現。

清洗槽平時沒有在運作時，槽面的蓋子是閉合的，要使用時才會打開。閉合的目的是為了防止具揮發性的毒氣擴散出來。當機械手臂前端鉗著裝載晶圓片的籃子至槽體正上方時，蓋子就打開，讓機械手臂伸入槽體；當晶圓片清洗完畢後，機械手臂就會再次鉗著籃子抽離槽體，接著蓋子就會閉合。蓋子打開與閉合的過程會擾動毒氣分佈，主要影響的因素為蓋子轉速，故要對整個過程做模擬。當蓋子向上翻起時，被擾動向上捲的毒氣，是否可藉由進風口吹氣下壓與抽風口抽氣外抽，使毒氣不會大幅度向上捲；而當蓋子閉合時的瞬間，槽內被壓出的毒氣是

否亦可以藉由進風口吹氣下壓與抽風口抽氣外抽，而使毒氣最終沉澱於槽底與外殼間的區域，且整個蓋子開閉的過程中，毒氣絕不可越過前擋板，此為主要的探討重點。蓋子的移動方式為轉動，故利用移動網格的旋轉概念模擬其轉動對流場濃度分佈的影響。移動網格模擬為後半部主要探討的內容，它是一種相當重要且實際的技術，利用網格間的相互滑移交錯或壓縮與拉伸來達到移動的目的。舉凡系統內會移動的配置對流場產生的影響都需要利用此技術來做模擬。移動網格的部分，會同時使用 Fluent 及 Star CD 兩種套裝軟體來做模擬。整體建網格過程會比前半部份(無蓋子)來的複雜，如在平板邊上網格加密，對網格的變型做優化處理，尤其為了使轉動效果能達到最佳化，故網格建立採非結構之三角形網格，使網格更能適應於各種形狀的模型及不同的移動方式。此外，轉動時考慮移動物體跟靜止物體間的網格變形，網格不能在移動的過程中出現負體積，這是非常關鍵的要點。尤其是 3D 轉動部份，因一次所要帶動到的格點相當多，所以很容易出現負體積。並且網格拉伸與壓縮時，一個時階到下一個時階的間隔時間會非常久，故要實現的困難度比 2D 的 case 高很多。

移動網格的討論先從簡易的移動 case 做起，逐步到清洗槽轉動蓋子的模擬。此外，在實際使用兩種軟體，經比較後，會取建模較容易且應用層面較廣、實際的其中一種軟體當工具。對每一個動網格的 case，後處理的部份會做 GIF 動畫或做成影片。其中 2D 模擬的部份，實際的蓋子上應有兩片板子相向對轉，但因要避免負體積的產生，先簡化做單一片轉動。此模擬忽略因機械手臂二段式平移對流場產生的擾動。

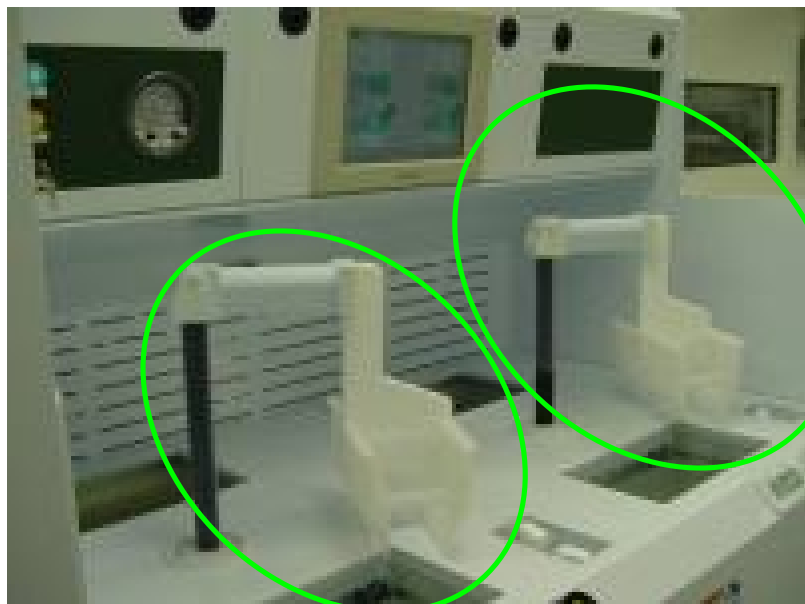


圖 1-1 清洗槽之機械手臂[16]



表 1-1 污染物可能的來源與其影響度 [7][8][9][10][11][12]

| 污 染 物 | 可能的來源 | 影響度 |
|---------------------|--|---|
| 異物 | 設備、生產環境、氣體、化學藥品、超純水 | 低氧化矽之崩潰電壓，金屬線短路 |
| 金屬物(金屬離子、金屬原子、金屬分子) | 設備、化學藥品、離子反應蝕刻 | 元件電性變差，有低崩潰電壓、高漏電流與少數載子有低生命週期，閘極絕緣膜耐壓性不良、平帶電壓偏移。 |
| 有機物 | 生產環境的氣體、光阻殘留、化學藥品 | 可改變氧化矽之成長速率 |
| 晶片表面粗糙度 | 原始晶片材料、化學藥品的刻蝕 | 氧化矽有低崩潰電壓，載子的移動率小 |
| 原始薄氧化矽 | 大氣中的溼氣、超純水的清洗 | 降低氧化矽質、降低磊晶片品質 |
| 無機物 | H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ 清洗後，殘留在晶圓表面的成分或無塵室跟製程中 NH ₃ 反應，在晶圓表面所留下的塵粒。 | Cl 會和 NH ₃ 形成 NH ₄ Cl，造成不良影響。 |



圖 1-2 STANDARD WET BENCH [17]

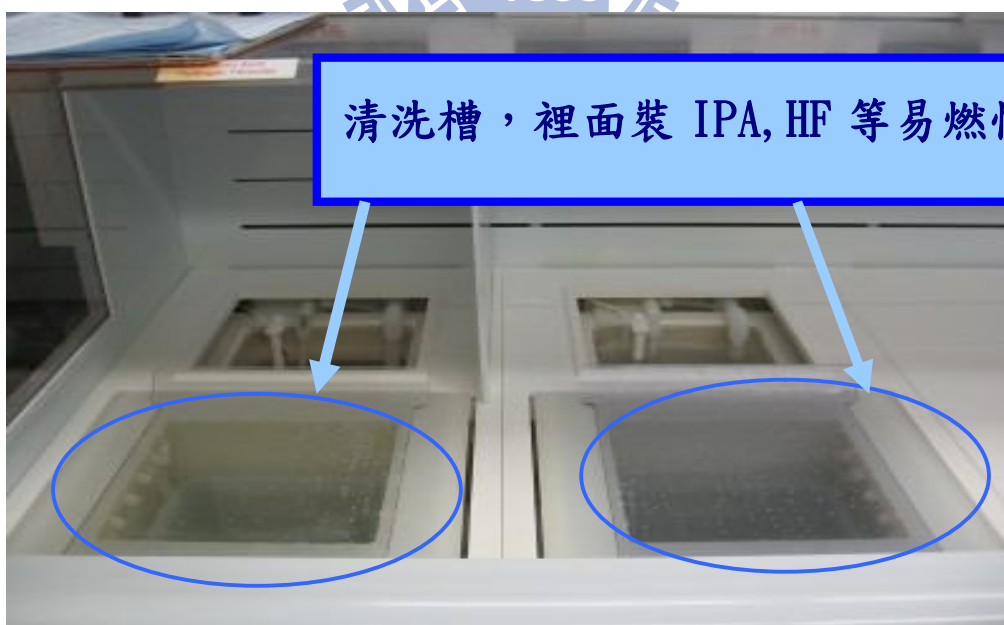


圖 1-3 WET BENCH [18]

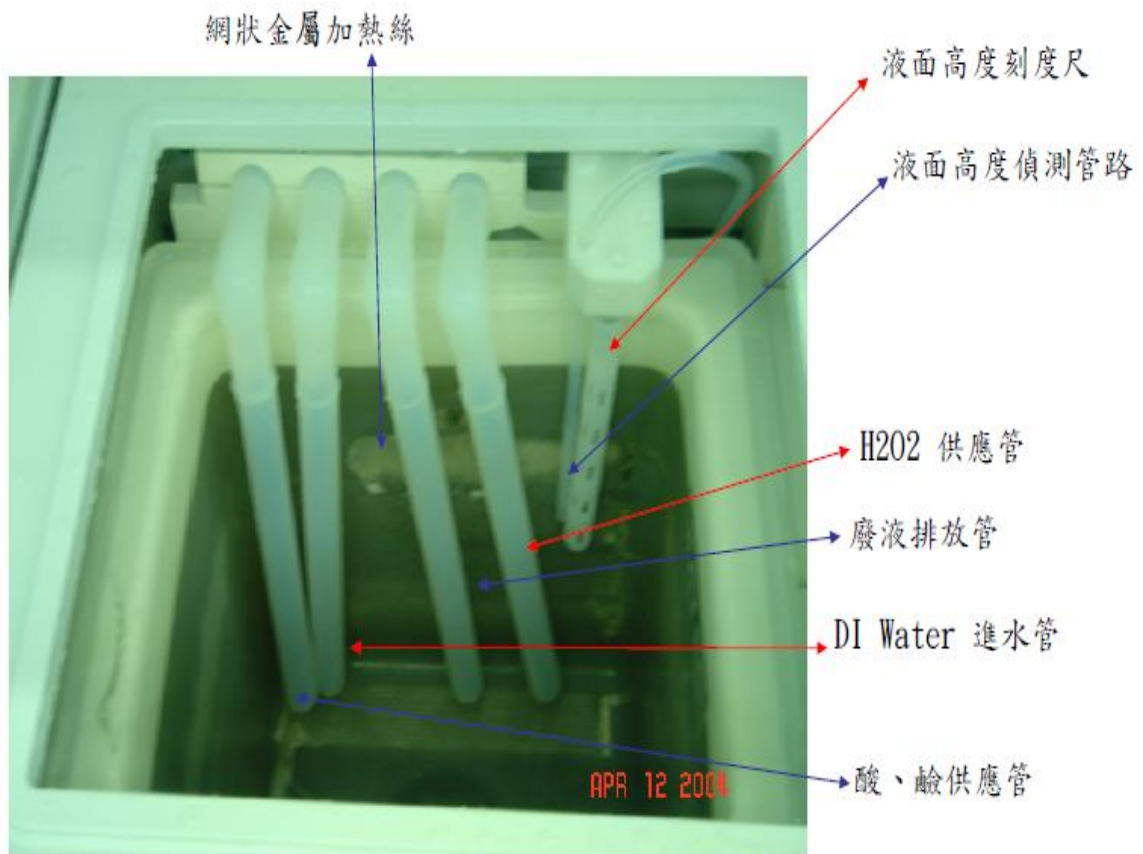


圖 1-4 化學石英槽（來源：國家奈米元件實驗室）

爐管前清洗區

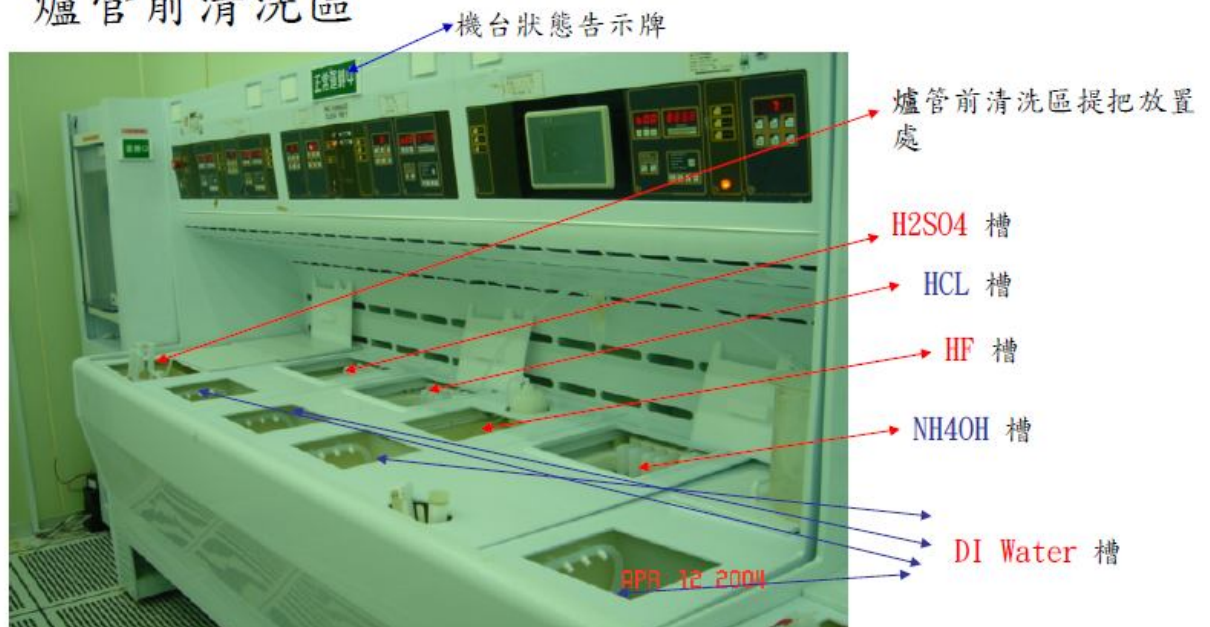


圖 1-5（來源：國家奈米元件實驗室）

表 1-2 92 年至今高科技廠工安事故[15]

| 發生日期 | 縣市別 | 死 | 傷 | 災害類型 | 媒介物 | 災害發生 單位屬性 | 罹災時作業類別 |
|----------|-----|---|----|--------------|----------------------------|---------------|---|
| 92/12/4 | 南科所 | 1 | 0 | 與有害物等 之接觸 | 有害物 | 化學科技公司 | 勞工進行安裝中顯影劑回收系統機台氣動閥調整作業時，未先作洩壓致顯影劑噴出接觸罹災者上半身送醫不治。 |
| 93/2/7 | 竹科所 | 1 | 0 | 與有害物等 之接觸 | 特殊環境等 (氮氣) | DRAM科技公司 | 勞工進入無塵室從事製程爐管機維修作業時，因吸入氮氣窒息死亡。 |
| 93/6/4 | 新竹縣 | 0 | 19 | 與有害物等 之接觸 | 有害物 | 電子科技公司 | 因廠內廢水處理藥劑貯桶氯氣外洩，造成19名勞工吸入性灼傷。 |
| 94/1/26 | 竹科所 | 0 | 21 | 與有害物等 之接觸 | 有害物 (AsH ₃) | 晶圓代工公司 | 氣體室進行管路拆除時，勞工誤切管路造成有毒氣體洩漏，21名勞工受影響。 |
| 94/5/1 | 桃園縣 | 0 | 7 | 火災 | 鍋爐 | 半導體製造公司 | 勞工從事鍋爐點火啟動時發生火災，造成7人受傷。 |
| 94/10/18 | 宜蘭縣 | 0 | 1 | 與有害物等 之接觸 | 氟化氫 | 半導體公司 | 勞工從事蝕刻機維修作業時，因蝕刻機儲存槽裂縫處爆開，噴出氟化氫造成臉部受傷。 |
| 94/11/23 | 南科所 | 1 | 0 | 爆炸 | 矽甲烷 | 太陽能電池 製造公司 | 勞工於氣體室更換矽甲烷鋼瓶時發生矽甲烷洩漏爆炸致死。 |
| 95/2/20 | 中科所 | 0 | 2 | 與有害物等 之接觸 | 氫氟酸 | 科技公司 | 從事蝕刻機機台裝機時，2名工程師遭受氫氟酸噴傷。 |
| 95/3/7 | 桃園縣 | 0 | 18 | 與有害物等 之接觸 | 有害物 (氯氣) | 科技公司 | 內層蝕刻區輸送鹽酸及漂白水管理線控制閥忘記關閉，造成18名勞工住院治療。 |
| 95/7/28 | 竹科所 | 0 | 1 | 與有害物等 之接觸 | 三氟化氯 | 科創公司 | 從事機台設備組裝，因管線脫離，勞工皮膚誤觸三氟化氯送院急救。 |
| 95/12/17 | 桃園縣 | 2 | 0 | 爆炸 | 長晶爐 | 太陽能材料公司 | 長晶爐發生水蒸汽爆炸事故，造成2名勞工死亡。 |
| 96/2/16 | 高雄縣 | 2 | 0 | 與有害物等 之接觸 | 有害物 | 電子化學 材料公司 | 2名勞工遭四甲基氫氧化氮噴濺昏迷送醫不治。 |

資料來源：行政院勞工委員會勞工檢查處



圖 1-6 MEMS 微機電系統廠無塵室濕式晶圓清洗機起火[19]



圖 1-7 MEMS 微機電系統廠無塵室濕式晶圓清洗機起火[19]



圖 1-8 MEMS 微機電系統廠無塵室濕式晶圓清洗機起火[19]

第二章 物理模式

2-1 物理模式

本研究為探討酸洗槽液面毒氣擴散，如圖 2-1 為濕式清洗槽之示意圖，圖中最上方為入風口區，側排有抽風口，前檔板上有缺口，使機械手臂可以通過，有毒液體置於清洗槽中，毒液液面濃度為固定的 100%，當毒氣擴散時，須靠上方入風口向下吹氣及抽風口抽氣使毒氣向下沉，不停的循環。圖 2-2 為此清洗檯的尺寸物理模型圖。

2-2 分析假設與統御方程式

本文選擇使用高雷諾數 $k-\varepsilon$ 紊流模式來模擬流場。為了簡化分析，本研究對流場做了以下的假設：

- (1) 空間為三維直角座標系統。
- (2) 工作流體為空氣，流體性質為牛頓流體(Newtonian fluid)，黏滯係數(Viscosity)為等方向性，為不可壓縮紊流流場。
- (3) 流體與物體之界面滿足無滑移條件(no-slip condition)。
- (4) 液面濃度為固定的 100%。
- (5) 不做溫度計算。
- (6) 不考慮重力與浮力效應。
- (7) 沒有化學反應。

流場的統御方程式則有連續方程式、動量方程式、紊流動能方程式、紊流動量消耗方程式，分別如下：

連續方程式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j) = 0 \quad (2-1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p_s}{\partial x_i} + s_i \quad (2-2)$$

其中：

$$\tau_{ij} = 2\mu s_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j} \quad (2-3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2-4)$$

t :time

x_i :Cartesian coordinate($i=1,2,3$)

u_i :absolute fluid velocity component in direction x_i

\tilde{u}_j : $\tilde{u}_j = u_j - u_{cj}$, relative velocity between fluid and local(moving)coordinate frame that moves with velocity u_{cj}

p :piezometric pressure= $p_s - \rho_0 g_m x_m$ where p_s is the static pressure , ρ_0 is reference density , the g_m are gravitational field components and the x_m are coordinates from a datum , where ρ_0 is defined

ρ :density

τ_{ij} :stress tensor components

s_m :mass source

s_i :momentum source components

紊流動能方程式 (k -equation) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}[\rho \tilde{u}_j k - (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j}] = \\ \mu_t(P + P_B) - \rho \varepsilon - \frac{2}{3}(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \mu_t P_{NL} \end{aligned} \quad (2-5)$$

其中：

$$p \equiv 2s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2-6)$$

$$p_B \equiv -\frac{g_i}{\sigma_{h,t}} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (2-7)$$

$$P_{NL} = -\frac{\rho}{\mu_t} \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - [P - \frac{2}{3}(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\rho k}{\mu_t}) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}] \quad (2-8)$$

σ_k 為經驗值。

紊流動量消耗方程式 (ε -equations) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}[\rho \tilde{u}_j \varepsilon - (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}] = \\ C_{31} \frac{\varepsilon}{k} [\mu_t P - \frac{2}{3}(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}] + C_{\varepsilon 3} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t P_B \\ - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{\varepsilon 4} \rho \varepsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t P_{NL} \end{aligned} \quad (2-9)$$

其中：

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \quad (2-11)$$

σ_ε , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, $C_{\varepsilon 3}$, $C_{\varepsilon 4}$ 為經驗值各係數值如表 2-1 所示。

濃度方程式：

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho m_m) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j m_m - F_{m,j}) = s_m \quad (2-12)$$

$$F_{m,j} \equiv \rho D_m \frac{\partial m_m}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_j m'_m} \quad (2-13)$$

s_m : rate of production or consumption due to chemical reaction

$F_{m,j}$: diffusional flux component

D_m : molecular diffusivity of component m

2-3 邊界條件

本文流場主要是進風口空氣為單一方向速度往下，抽風口也為單一方向速度，其進風口速度與抽風口帶動內部毒氣流動，最後自側排抽風口與出口排出流體，完成一個連續流體的循環。以下敘述主要邊界條件，分別為，進風口條件、出口壓力邊界、固體邊界、側排抽風口條件、濃度邊界、蓋子轉速。

1. 進風口條件：

$$U = 0, V = V_{in}, W = 0$$

2. 出口壓力邊界：

本文出口壓力設定為大氣壓力。

$$p = p_{atm}, \frac{\partial k}{\partial n} = 0, \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} = 0$$

3. 固體邊界：

壁面設為無滑移條件 (no-slip condition)。

$$U = 0, V = 0, W = 0$$

一般而言固體邊界適用於無法移動的邊界設定，如天花板、壁面、地板、阻礙物的接觸面，均可使用此設定，壁面設為無滑移條件。

k 與 ε 則採用 near-wall model 處理

$$u^+ = \begin{cases} y^+ & , y^+ \leq y_m^+ \\ \frac{1}{k} \ln(Ey^+) & , y^+ > y_m^+ \end{cases} \quad (2-14)$$

其中式 (2-14) 中

$$u^+ : (u - u_w)/u_\tau \quad u : \text{流體切線速度} \quad u_w : \text{壁面速度}$$

$$u_\tau = \left(\frac{\tau_w}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \tau_w : \text{壁面剪應力}$$

$$y^+ = \rho C_\mu^{1/4} k^{1/2} y / \mu \quad k : \text{為經驗係數}$$

$$E : \text{為經驗係數} \quad y_m^+ \text{ 滿足右列方程式: } y_m^+ - \frac{1}{k} \ln(Ey_m^+) = 0$$

4. 側排抽風口邊界:

$$U = U_{out}, \quad V = 0, \quad W = 0$$

5. 濃度邊界:

清洗液液面濃度固定 100%

$$\phi^+ = \sigma_{\phi,t} (u^+ + P) \quad (2-15)$$

$$P \equiv 9.24 \left[\left(\frac{\sigma_\phi}{\sigma_{\phi,t}} \right)^{3/4} - 1 \right] \left[1 + 0.28 \exp \left(\frac{-0.007 \sigma_\phi}{\sigma_{\phi,t}} \right) \right] \quad (2-16)$$

$$\phi^+ : \rho(\phi_w - \phi)u_\tau / F_{\phi,w} \quad \text{for mass flux}$$

$$\phi_w : \text{wall value}$$

$$\sigma_\phi : \text{molecular Prandtl/Schmidt number}$$

$$\sigma_{\phi,t} : \text{turbulent Prandtl/Schmidt number}$$

6. 蓋子條件：

槽面上方的蓋子平時不用時是閉合的，因要防止毒氣擴散，操作時才會打開轉動。圖 2-2(C)為 2D 清洗檯與蓋子示意圖，系統尺寸跟 3D 無蓋子的 $x-y$ 截面尺寸相同。蓋子初始轉速 ω 分別為 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s ，其蓋子位移、切線速度、轉加速度、受力表示如下：

$$L = \omega_0 t + \frac{1}{2} a_r t^2 \quad (2-17)$$

$$v = l\omega \quad (2-18)$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (2-19)$$

$$a_r = \frac{d\omega}{dt} \quad (2-20)$$

$$F_{total} = F_{pressure} + F_{viscous} \quad (2-21)$$

其中：

L ：蓋子位移

l ：蓋子上任一處至轉軸的距離

θ ：轉角

v ：切線速度

ω ：轉速

a_r ：轉加速度

$F_{pressure}$ ：蓋子所受之壓力

$F_{viscous}$ ：蓋子所受之黏滯力

F_{total} ：蓋子所受之總力

當蓋子轉到最大角度時會先停止，再以一負法方向的等量轉速反轉。反轉至蓋子再度水平並停止於槽面，以移動網格方式控制其轉動。

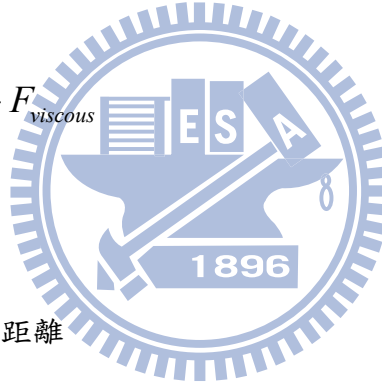
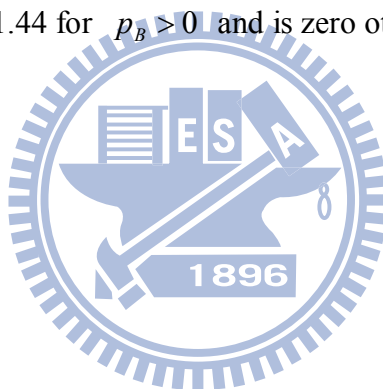


表 2-1 標準 $k-\varepsilon$ 紊流模式係數值

| C_μ | σ_k | σ_ε | σ_h | σ_m | $C_{\varepsilon 1}$ | $C_{\varepsilon 2}$ | $C_{\varepsilon 4}$ | k |
|---------|------------|----------------------|------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| 0.09 | 1.0 | 1.22 | 0.9 | 0.9 | 1.44 | 1.92 | -0.33 | 0.42 |

* $C_{\varepsilon 3}=1.44$ for $p_B > 0$ and is zero otherwise



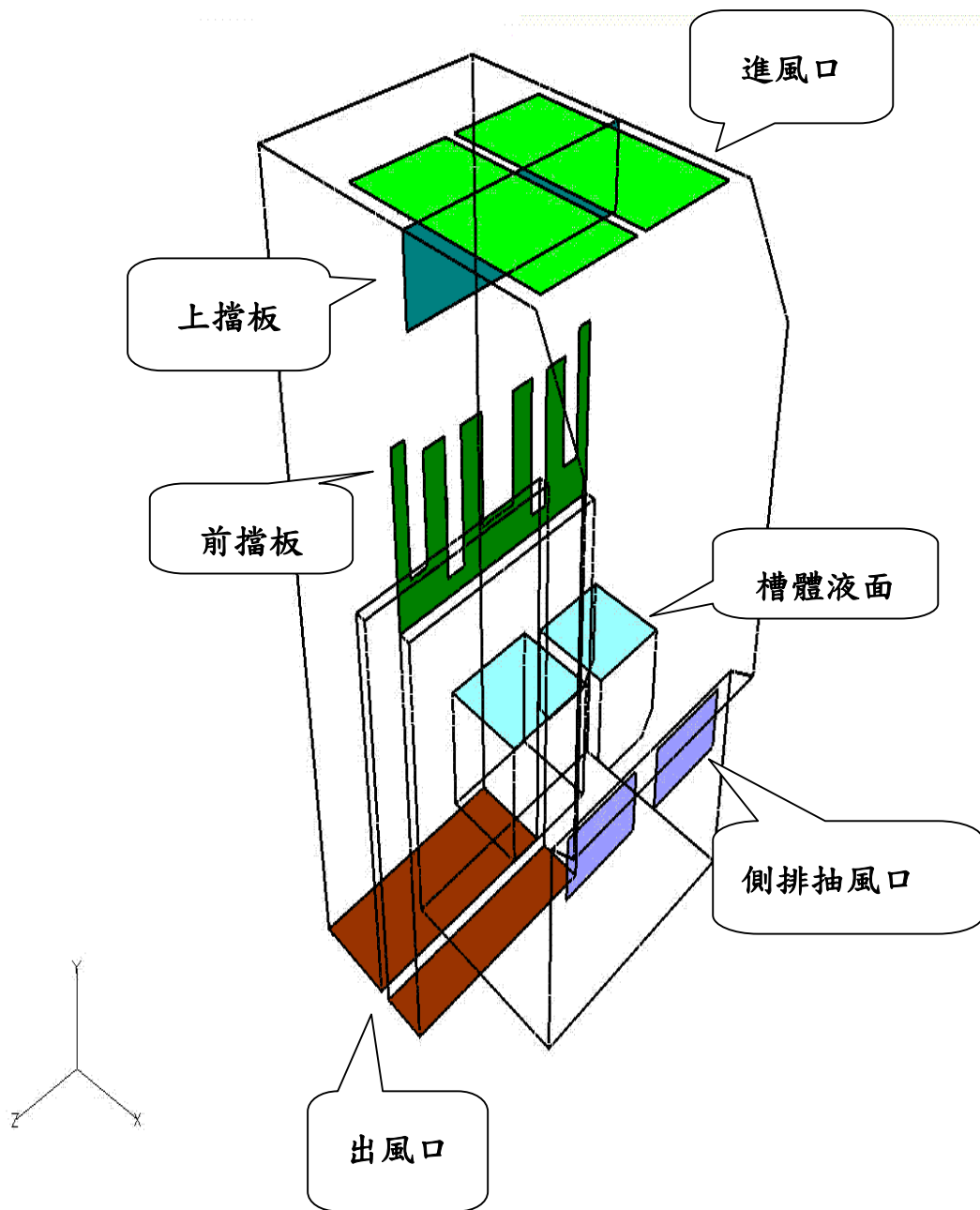


圖 2-1 清洗檯示意圖

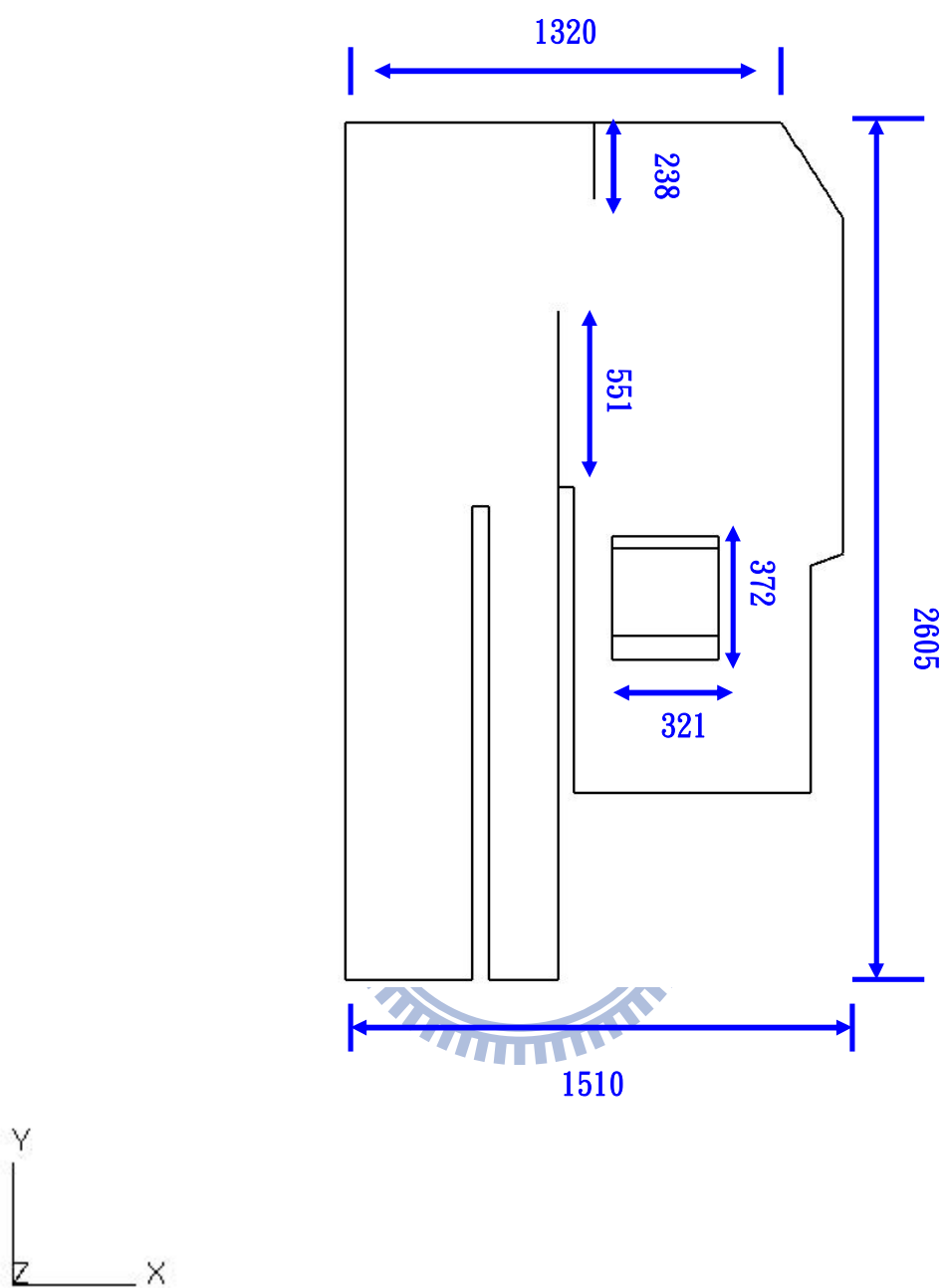


圖 2-2(a) 清洗檯尺寸圖(側視，Z 方向深度為 998)

單位: *mm*

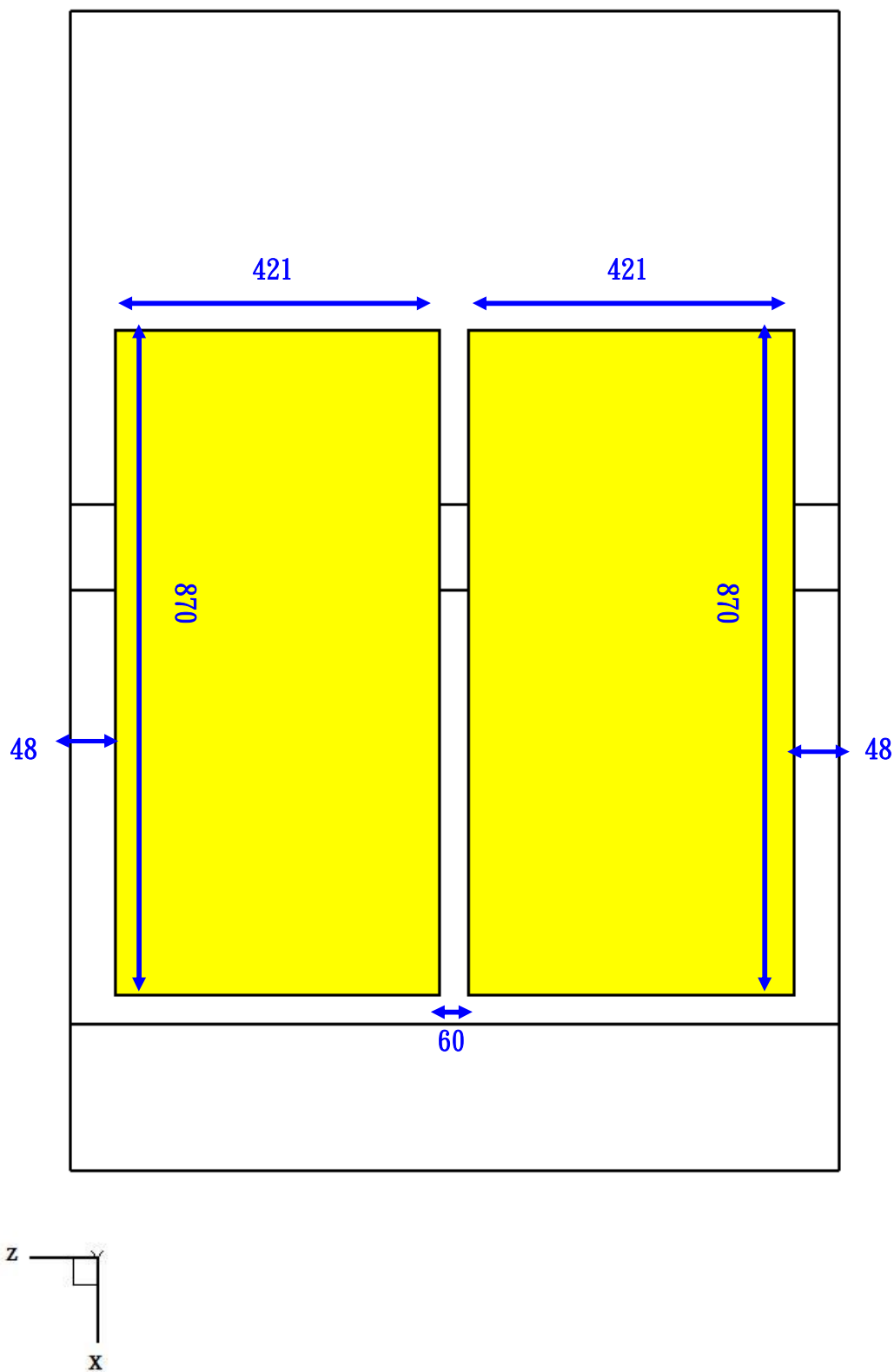
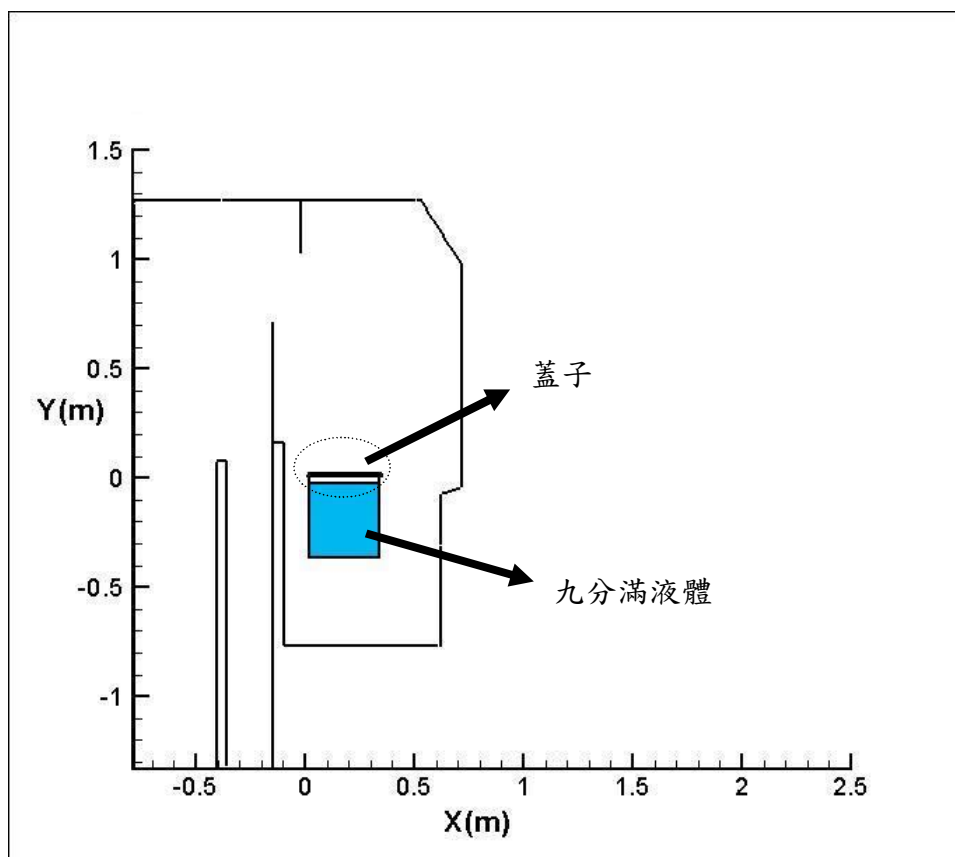


圖 2-2(b) 清洗檯尺寸圖(俯視，Y 方向深度為 2605)

單位: *mm*



蓋子尺寸:

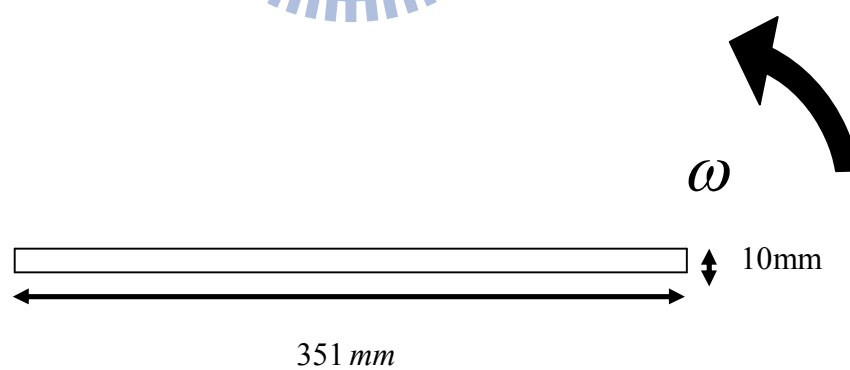


圖 2-2(c) 2D 清洗檯與蓋子示意圖(側視, Z 方向深度為 1 m)

第三章 數值方法

3-1 數值方法

本文利用數值方法，求解移動動物體其周圍流場的變化，此數值方法乃是應用流體力學輔助軟體 STAR-CD 作為計算平台，紊流流場 $k-\varepsilon$ 模式及不可壓縮流模式，解三維穩態 Navier-Stokes equations，並利用有限容積法(finite-volume)以及分別用 SIMPLE 演算法計算穩態流場與 PISO 演算法來計算暫態流場，物理變數定義於每個控制容積中心做積分而求得，如圖 3-1 所示，計算過程流程圖示於圖 3-2。

有限體積法的守恒方程式(conservation equations)可表示如下：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho\vec{u}_r\phi - \Gamma_\phi \text{grad}\phi) = s_\phi \quad (3-1)$$

其中 $\vec{u}_r = \vec{u} - \vec{u}_c$ 為流體速度 \vec{u} 與局部速度 \vec{u}_c 之相對速度， ϕ 為任意相關變數， Γ_ϕ 和 s_ϕ 分別為擴散係數(diffusion)和來源係數(source)。

將(3-1)式積分後可得：

$$\frac{d}{dt} \int_{V_p} \rho\phi dV + \sum_j \int_{S_j} (\rho\vec{u}_r\phi - \Gamma_\phi \text{grad}\phi) \cdot d\vec{S} = \int_V s_\phi dV \quad (3-2)$$

T_1

T_2

T_3

根據 (3-2) 式，對各項作離散：

1. 擴散項(diffusion terms)

$$T_2 \approx \sum_j (\rho\vec{u}_r\phi \cdot \vec{S})_j - \sum_j (\Gamma_\phi \overline{\text{grad}\phi} \cdot \vec{S})_j \equiv \sum_j C_j - \sum_j D_j \quad (3-3)$$

擴散項用中點近似法可用下列來表示：

$$D_j \approx \Gamma_{\phi,j} \left[f_j^l (\phi_N - \phi_P) + \left\{ \overline{\text{grad}\phi} \cdot \vec{S} - f_j^l \overline{\text{grad}\phi} \cdot \vec{d}_{PN} \right\}_j \right] \quad (3-4)$$

其中 f_j 為幾何因子， \vec{d}_{PN} 為 P 到 N 之向量， $\Gamma_{\phi,j}$ 為面擴散係數。

2. 來源項(source term)

$$T_3 \approx s_1 - s_2 \phi_P \quad (3-5)$$

3. 對流項

對流項以 Upwind Differencing Scheme 處理，根據(3-3)式的推導，對流項可由下列表示：

$$C_j^{UD} \equiv F_j \begin{cases} \phi_P & , F_j \geq 0 \\ \phi_{N+} & , F_j < 0 \end{cases} \quad (3-6)$$

其中

$$F_j \equiv (\rho \vec{u}_r \cdot \vec{S})_j \quad (3-7)$$

F_j 為通過面 j 和 ϕ_j 的質通量如圖 3-3 所示，輔助值 ρ 和 Γ 由線性內插得到。

綜合上述，(3-2)式可表示為：

$$\frac{(\rho V)^n - (\rho V)^0}{\delta t} + \sum F_j = 0 \quad (3-8)$$

或

$$A_P \phi_P^n = \sum_m A_m \phi_m^n + s_1 + B_P \phi_P^o \quad (3-9)$$

和

$$A_P \equiv \sum_m A_m + s_2 + B_P \quad (3-10)$$

其中

1. A_m 為對流或擴散的影響。

2. 計算通量為所有相鄰點的總和。

3. $B_P \equiv (\rho V)^o / \delta t$

3-2 PISO 數值計算

1. 基本方程式：

(1) 有限容積動量方程式：

$$A_P u_{i,p}^n = H(u_{i,m}^n) + B_P^0 u_{i,p}^0 + s_1 + D_P (P_{N+}^n - P_{N-}^n) \quad (3-11)$$

其中

$$H(u_{i,m}) \equiv \sum_m A_m u_{i,m} \quad (3-12)$$

而 $D_P (P_{N+}^n - P_{N-}^n)$ 近似於有限容積法的壓力梯度 $\partial p / \partial x_i$ ， D_P 為幾何係數，如圖 3-4。

(2) 有限容積連續方程式：

$$B_P^n - B_P^0 + \sum_j (\rho^n u_j^n S_j) = 0 \quad (3-13)$$

u_j 為格點單位面積 S_j 的正向速度

為了計算質通量(mass flux)以及推導壓力方程式，方程式改用點表示法，由(3-11)式可推導出：

$$\bar{A}_P u_j^n = \bar{H}(u_{i,m}^n) + \bar{B}_P^0 u_{i,p}^0 + \bar{s}_1 + \bar{D}_P (P_{N+}^n - P_{N-}^n) \quad (3-14)$$

將(3-14)式代入(3-13)式可推導出壓力方程式：

$$A_P P_P^n = \sum_m A_m P_m^n + s_1 \quad (3-15)$$

其中 s_1 為來源項(source term)，為點速度 u_i^n 和 u_i^0 的函數。

2. 解析過程：

(1) 預測計算階段(predictor term)：

$$A_P u_{i,p}^{(1)} = H(u_{i,m}^{(1)}) + B_P^0 u_{i,p}^0 + s_1 + D_P (P_{N+}^{(0)} - P_{N-}^{(0)}) \quad (3-16)$$

其中 $P^{(0)}$ 為剛開始計算時的壓力值，初步暫時解 $u_j^{(1)}$ 可由方程式(3-14)得到。

(2) 第一次修正計算階段(first corrector stage)：

動量方程式的運算可用以下表示：

$$A_p u_{i,p}^{(2)} = H(u_{i,m}^{(1)}) + B_p^0 u_{i,p}^0 + s_1 + D_p (P_{N+}^{(1)} - P_{N-}^{(1)}) \quad (3-17)$$

壓力方程式可表示為：

$$A_p P_p^{(1)} = \sum_m A_m P_m^{(1)} + s_1 \quad (3-18)$$

可解得壓力場 $P^{(1)}$ ，其中 s_1 為已知點速度 $u_i^{(1)}$ 和 $u_i^{(0)}$ 的函數，下次運算速度 $u_i^{(2)}$ 和 $u_j^{(2)}$ 可以(3-17)計算得到。

(3) 外加修正計算階段(additional corrector stage)

$$A_p u_{i,p}^{(q+1)} = H(u_{i,m}^{(q)}) + B_p^0 u_{i,p}^0 + s_1 + D_p (P_{N+}^{(q)} - P_{N-}^{(q)}) \quad (3-19)$$

$$A_p P_p^{(q)} = \sum_m A_m P_m^{(q)} + s_1 \quad (3-20)$$

$q=1, 2, 3, \dots$ 為修正計算等級，其中 A_p 為常數，只要增加 q 值即可完成數值解析得到的近似值。

STAR-CD 計算流場時是以下兩項作為收斂條件

1. 每一個時間步階(time step)的疊代次數。
2. 每一次疊代後所有控制容積內的殘值改變率小於給定值，即：

$$C_\phi^k = \sum (|B_p^n \phi_p^n| - |B_p^o \phi_p^o|) < (\text{給定值}) \quad (3-21)$$

3-3 暫態滑移網格(sliding mesh)

本文主要分析空間中移動物體其周圍流場的情形，處理方式則使用滑移網格進行。如圖 3-5 所示。

由圖 3-5 可知，靠近交界面上的網點(vertex number)分別為 1-6 點及 11-16 點。而在網格中心的編號則為上下交界面定義的上下交界面編號(boundary number)，其分別為 1-5 及 6-10。在滑移過程中，則以 Δt 時間乘上對應的角速度或移動速度(視移動為等角速度移動或是平移移動)，則此值為位移距離。首先移動下面從屬網格之後改變各網點位置連接關係，之後再移動交界面位置，最後再次移動下面從屬網格以恢復原本因移動而扭曲的網格，並更新上下邊界的連接關係，如原本(1)部分 1 和 6 之邊界相接，之後至(4)則改為 2 和 6 相接臨。網點亦是如此。而在每一步進時均計算整個區域內流場關係，以達到暫態轉動的效果。

此暫態滑移網格計算方式於每一次時間步進時， Δt 不可過大，否則位移距離會過大(不可超過一個網格距離)，否則造成網格修正的困難度及扭曲過於嚴重，使得流場發散而無法收斂。



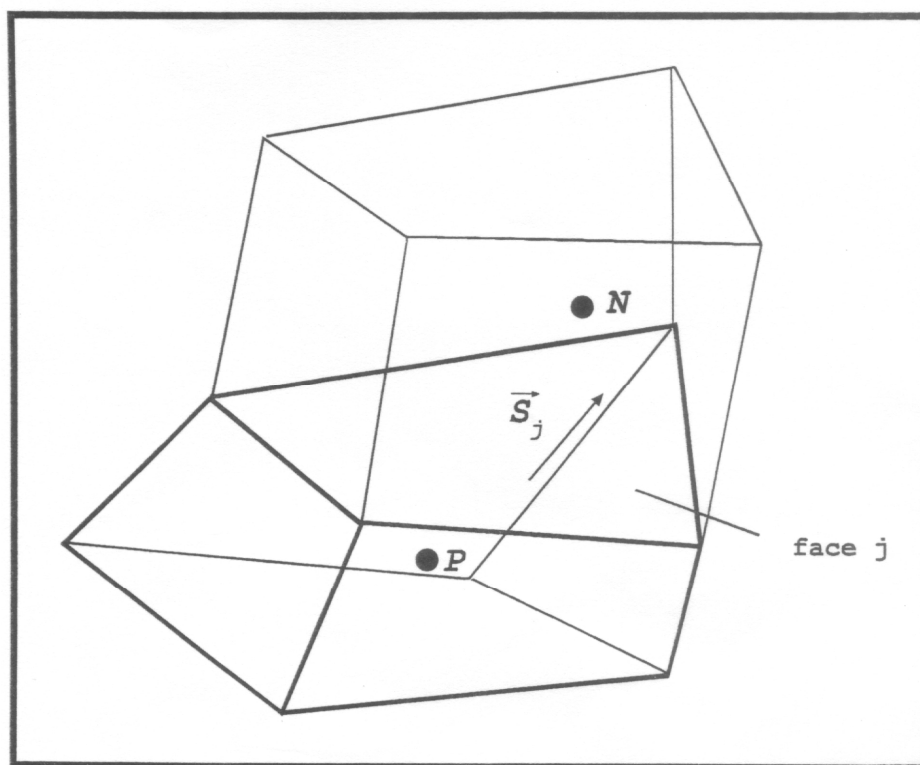


圖 3-1 相鄰網格中心點及離散面相關位置示意圖

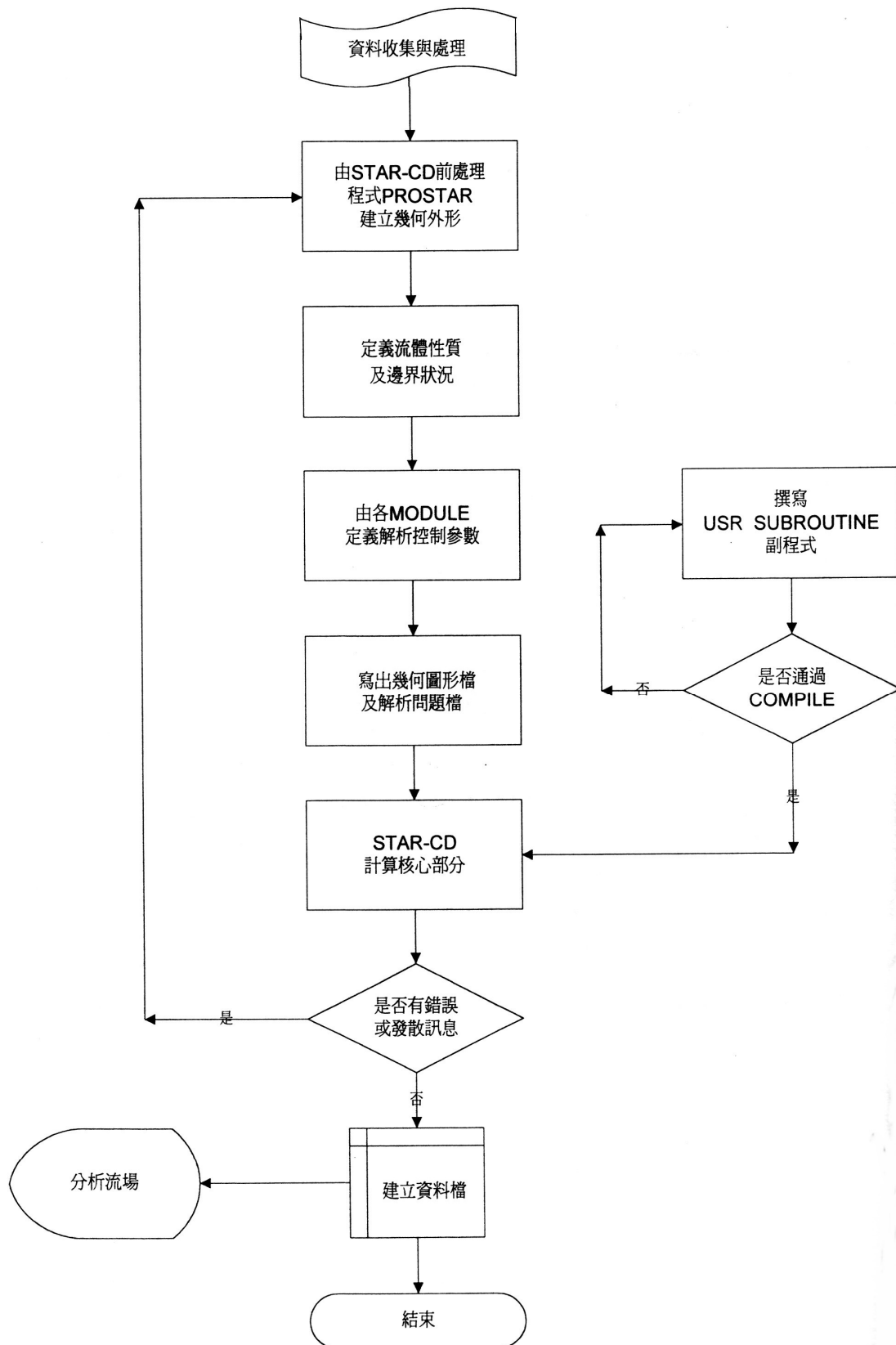


圖 3-2 計算流程圖

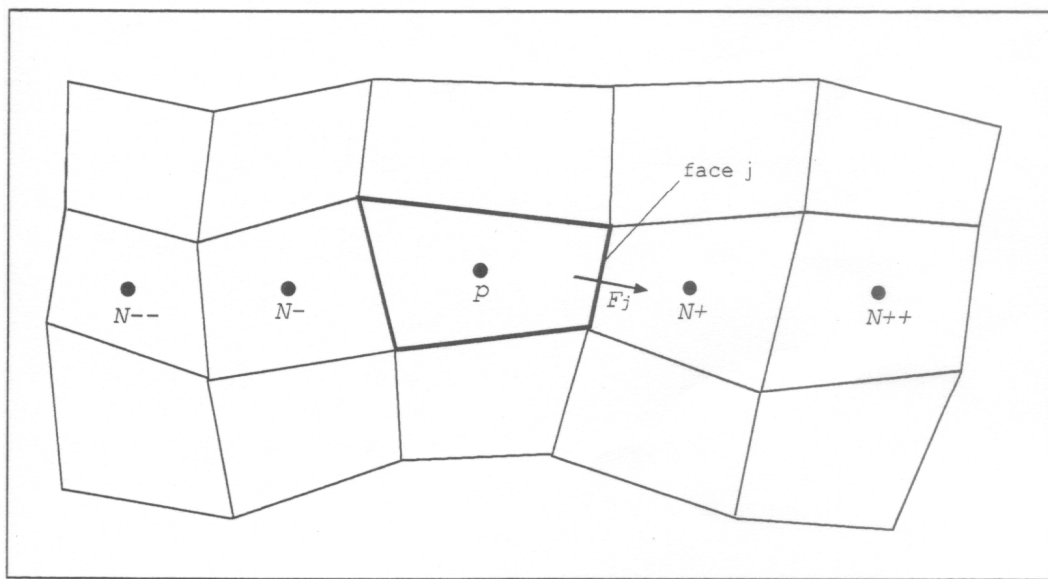


圖 3-3 對流通量示意圖

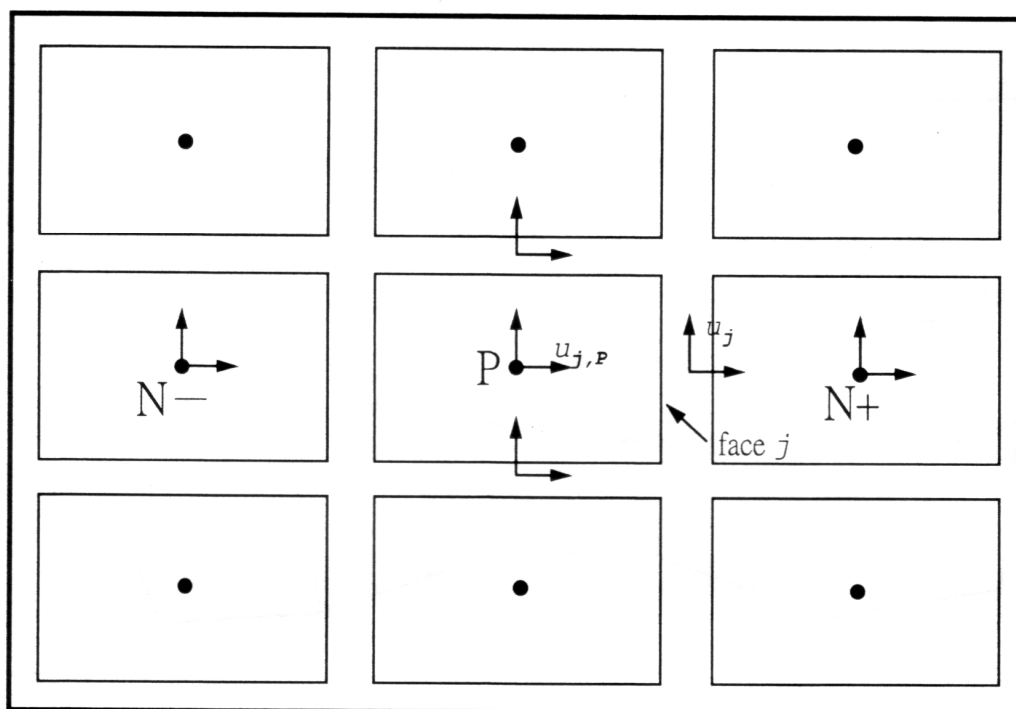


圖 3-4 PISO 示意圖

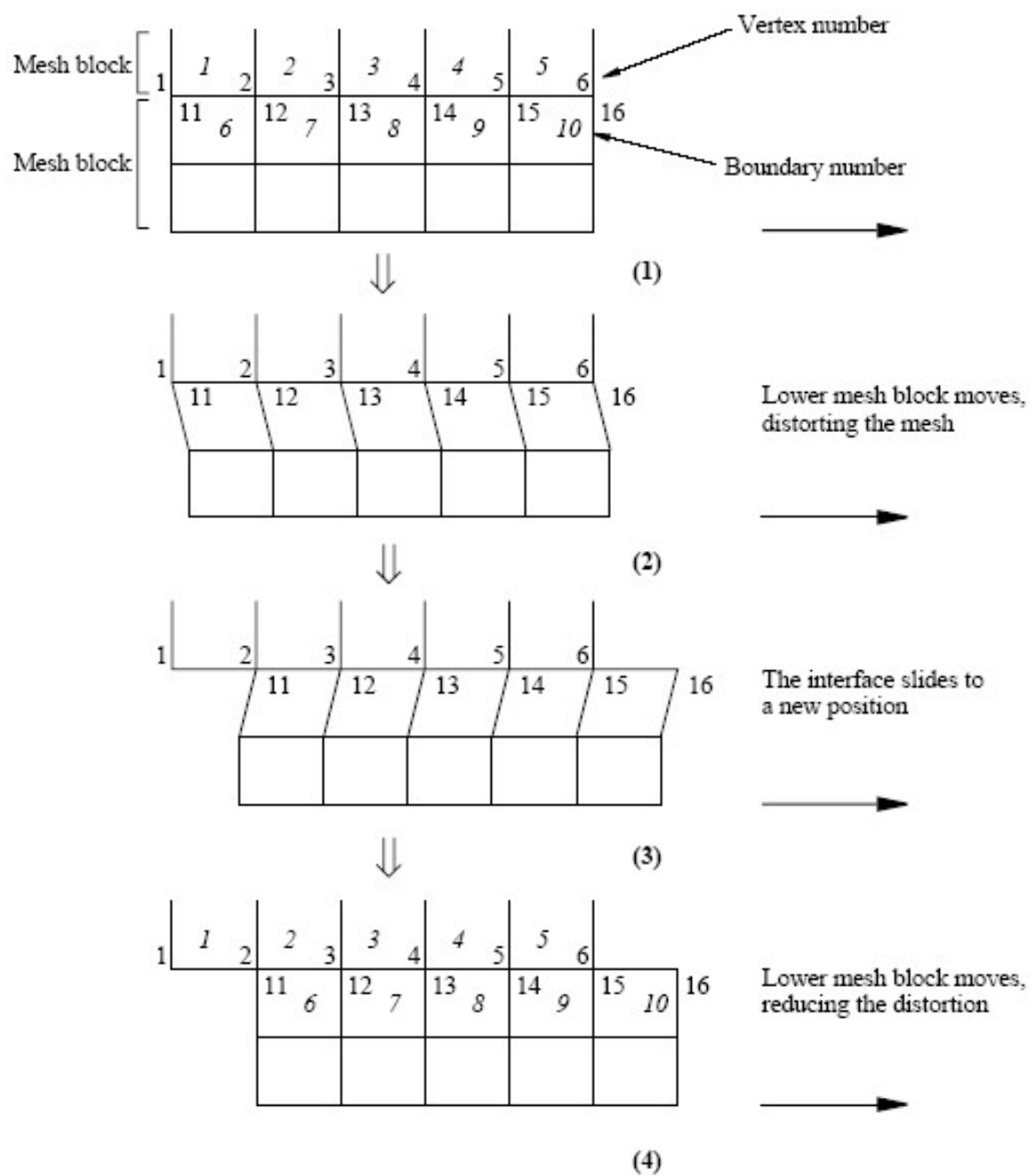


圖 3-5 滑移網格進行方式說明示意圖

此模擬同時使用 STAR CD 與 FLUENT 兩種軟體，建立會轉動的模型。使用 FLUENT 模擬移動，使用到 Smoothing 與 Remeshing 兩種方法[21]，Remeshing 法為當邊界配置比網格尺寸大且形變是朝主方向時，網格的品質會惡化，這可能會形成負體積，所以使用 Remeshing 法，當網格拉伸致一定程度時，會自動崩開與重新生成。如圖 3-8 左至右。Smoothing 法則為當節點似彈簧移動，且節點連結數不變與物體變形量小時使用。其中 Smoothing 法可分為 Spring-Based Smoothing Method 與 Laplacian Smoothing Method，前者適用於移動垂直於邊界時的情況；後者是將每個網格的頂點的位置調整成鄰近網格頂點的中心。後者比前者應用範圍廣，但計算成本較貴。Smoothing 法可與 Remeshing 法一起使用。另外還有一種 Layering 法，Layering 法適合於當邊界運動是垂直於移動邊界的情形。此方法只能適用於四邊形跟六邊形網格。其中，有三項主要影響因素。(1)理想的網格高度 h 。(2)分裂係數 α_s ：網格高度可以允許增加到 $(1+\alpha_s)h$ 的值。(3)倒塌係數 α_c ：網格可以壓縮至小於 $\alpha_c h$ 的值。Layering 法雖可以使移動更規律化，但跟 Remeshing 法比較，建模過程較為複雜，模型無法切四邊形網格時，Layering 法就無法適用，且只能適用於線性運動，無法做轉動模擬(圖 3-14)。建模時，網格結構依排列的方式分類，可分為結構性網格與非結構性網格[20]，本模擬採用非結構三角形網格。結構性網格多用於流體模擬；而非結構性網格則多用於物理機械。在移動網格的模擬，多採用非結構性網格，因非結構性網格比較適合於機械元件複雜的幾何構型，然而需較多的元素描述幾何構形、網格點位置不易掌握及產生較低自由度的元素則是嚴重的缺點。FLUENT 必須注意網格拉伸壓縮時，網格歪斜程度不可大過預設的最大值，不然會出現負體積，移動即停止。且網格拉伸壓縮的速度不可太快，不然也有可能出錯。而模型中移動物體的移動範圍與速度快慢則由副程式控制，在副程式中，輸入一等值但相反方向的速度，即可使移動物體反向移動，但有時在轉向的瞬間會出現負體積。使用 STAR CD 模擬移動時，必須在系統上建立 EVENT 部分，如圖 3-9，此為一個平移的 case，兩端突出來的部分即為 EVENT，其移動模式與概念如圖 3-10 至圖 3-12。如圖

3-11(b)，移動時，block 1 前方消失一個網格，block 1 後方緊接遞補一個網格，block 2 亦然。所建立的 EVENT 部分即為遞補的網格，當整體移動完時，EVENT 也正好全遞補完。在建模前就要考慮 Event 數，規劃錯系統就不能移動。移動的區塊與靜止的區塊間必須建立滑移面(Interface)。移動物體順著滑移面移動。

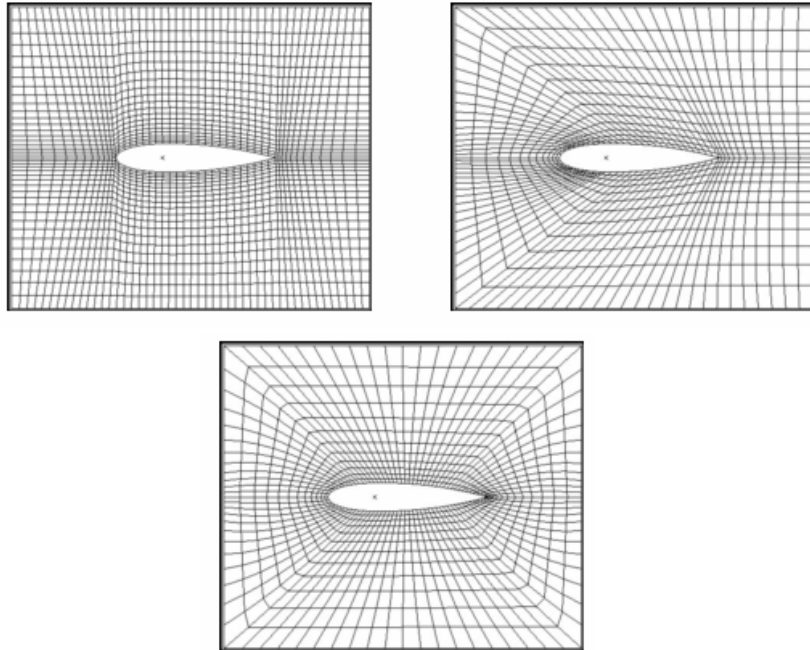


圖 3-6 H-TYPE、C-TYPE、O-TYPE 之結構性網格[20]

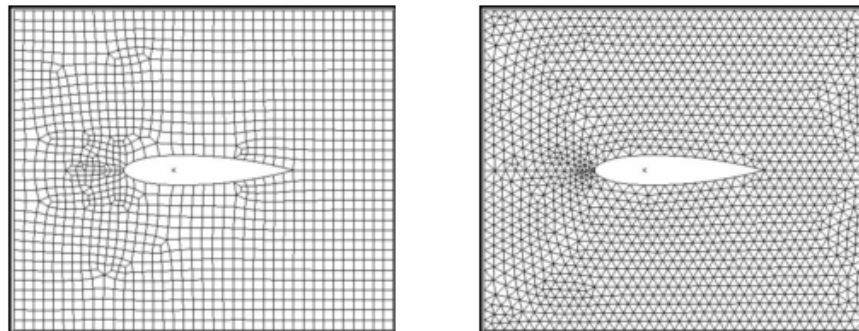


圖 3-7 四邊形與三角形之非結構網格[20]

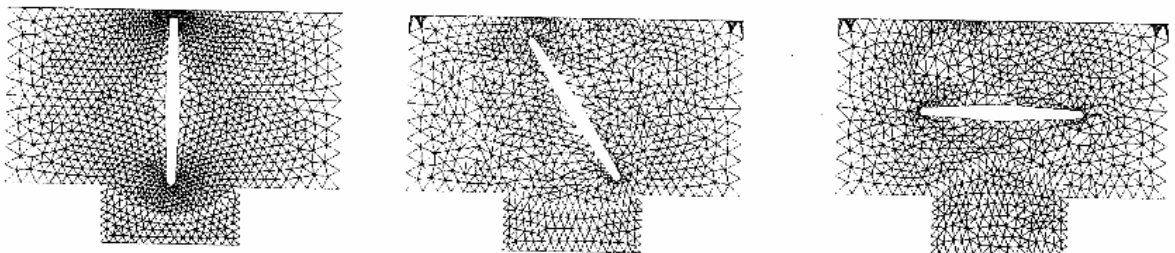


圖 3-8 Remeshing 法維持高網格品質圖[21]

表 3-1 FLUENT 與 STAR CD 移動網格模擬之比較

| | 建模方式 | 副程式 | 移動方式 | 應用層面 |
|---------|------------------------|------|--------------------------------|-----------------------------|
| STAR CD | 較困難，因要建立 EVENT 部分與滑移面。 | 較為複雜 | 較規則，因網格為結構網性網格，移動時順著滑移面一格一格移動。 | 限制較多，因為結構性網格，故只適用於形狀較規則的模型。 |
| FLUENT | 較易，直接在模型中劃分移動區域即可。 | 較為簡短 | 較不規則，因為非結構性網格，模擬時易出現負體積而停止轉動。 | 較廣，因非結構性網格能適應各種形狀的模型。 |

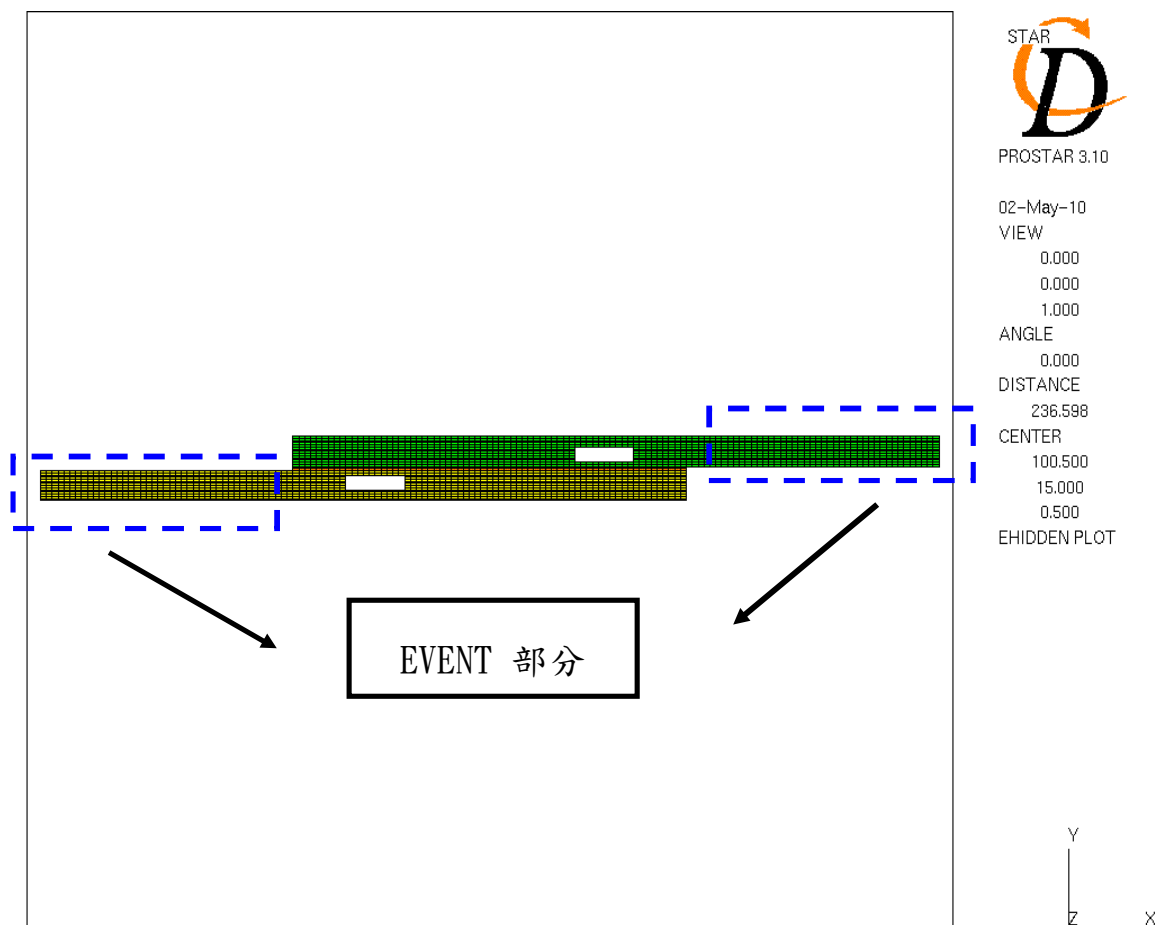


圖 3-9 STAR CD 兩方塊平移系統之模型圖

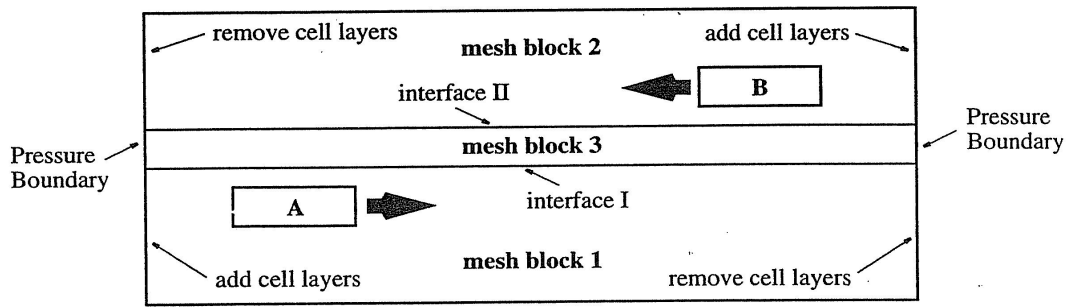
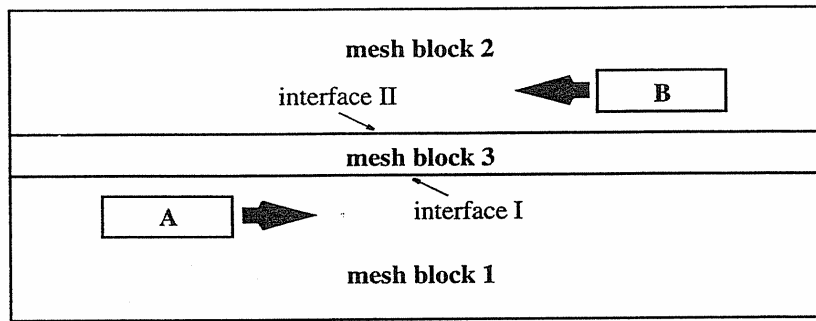
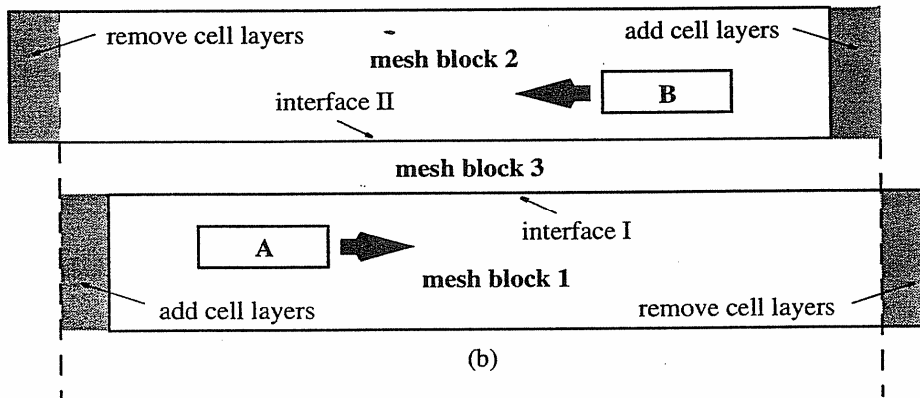


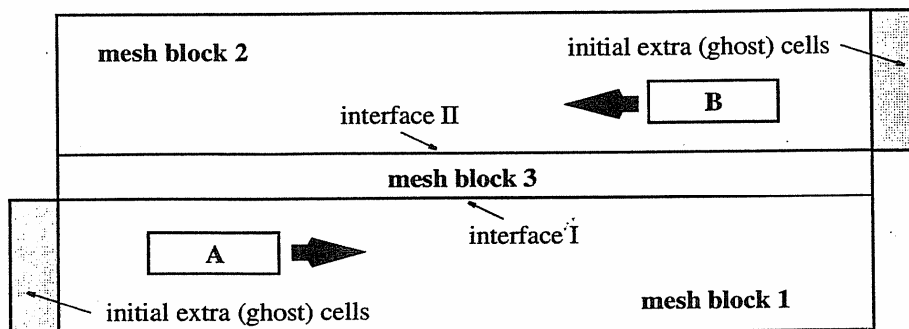
圖 3-10 Block meshing strategy[22]



(a)



(b)



(c)

圖 3-11 Auxiliary cell layer creation and removal strategy[22]

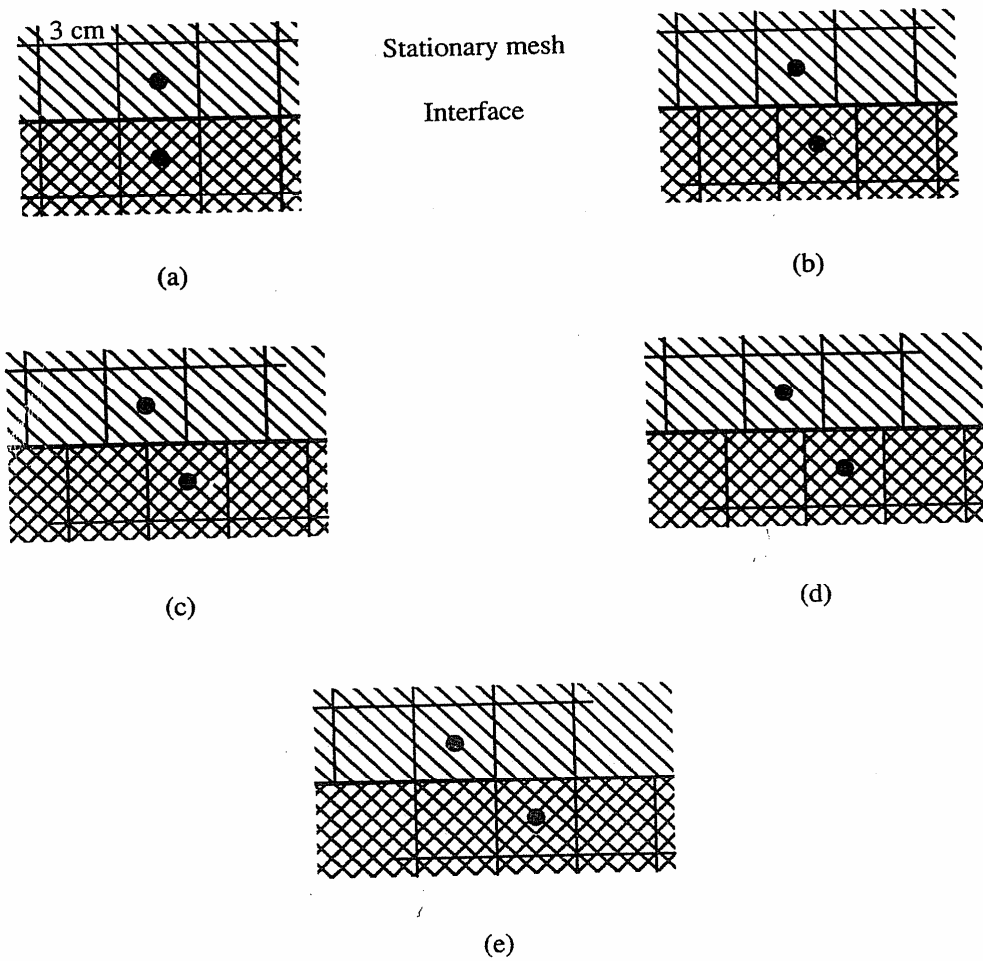


圖 3-12 Illustration of relative mesh movement[22]

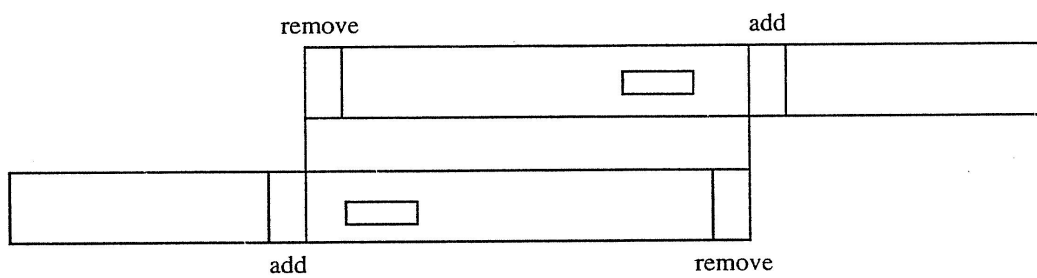


圖 3-13 Cell layers to be added and removed[22]

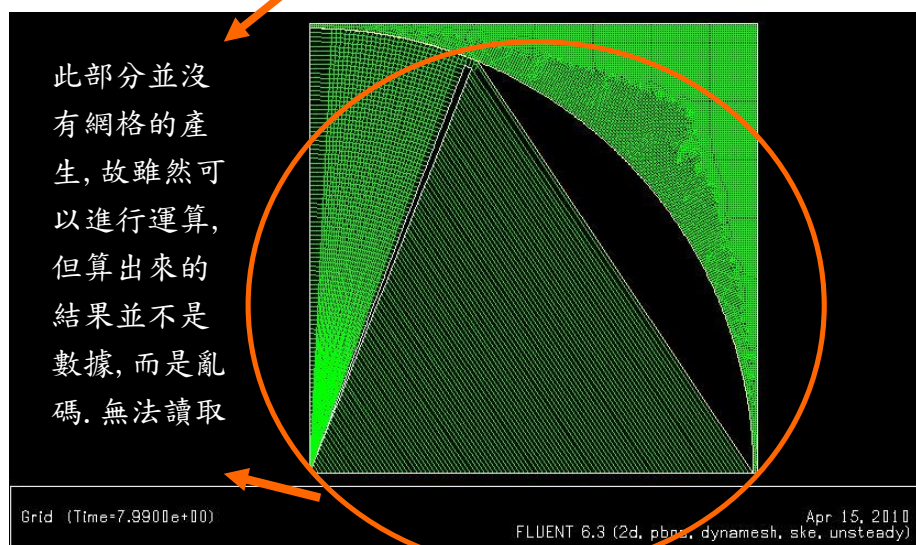
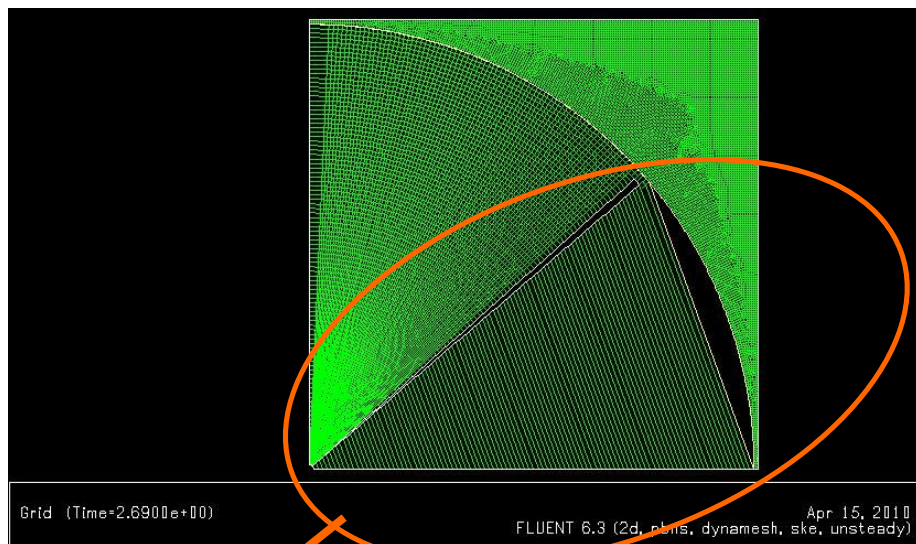
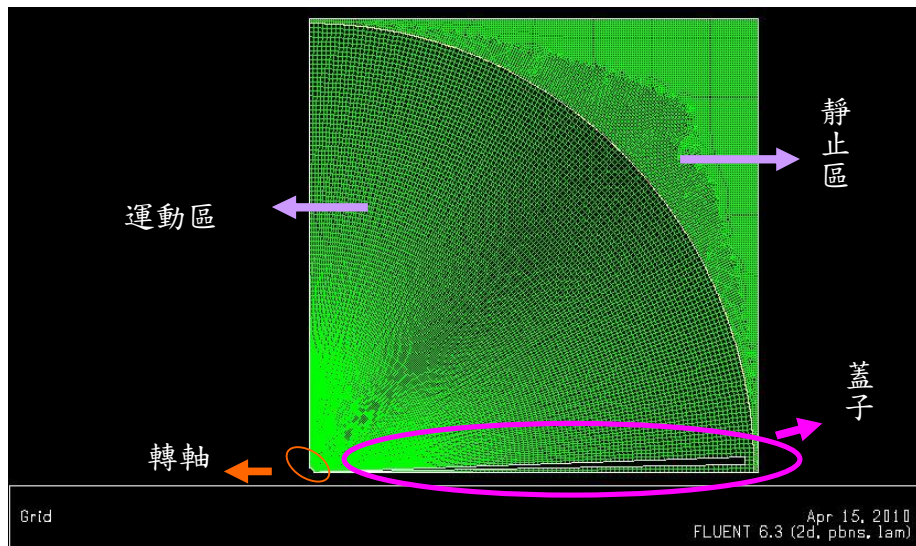


圖 3-14 使用 LAYERING 法的模型與 2 時間點的網格拉伸情形圖
(運動區與靜止區間的界面為交界面)

第四章 結果與討論

4-1 槽面無蓋子：

利用 STAR CD 軟體模擬，單一進風口面積為固定的 3662.7 cm^2 ，速度為固定的 0.4 m/s (負 y 方向)。而側排抽風口測試了三種尺寸，單一面積分別為 720 cm^2 ， 504 cm^2 ， 288 cm^2 ；速度為固定的 0.7 m/s (正 x 方向)，整體網格數 579150 格。工作流體為空氣，因酸液種類設定中沒有氫氟酸，故用分子質量接近的氬氣代替，濃度面設為固定濃度 100%。將濃度面設定成 100%，是假設槽面會有源源不絕的毒氣擴散出去，此為非常理想的狀態，實際情形並不會發生，因散出的濃度必隨時間而減少。將濃度的標度最大值設定成 0.03，是為了助於觀察，例如若將最大值設定成 1，則三種尺寸的濃度分布顯示會沒有太大差異。當上方進風口吹氣下來時，一方面將擴散出來的毒氣向下壓，但有部分毒氣反倒因被衝擊而反彈向上，所以側排抽風口就必須適時發揮作用，將毒氣往外抽，縱使沒法完全抽出，也至少要讓毒氣沉積在槽底外的區域。由進風及抽風設備，將毒氣擴散範圍降至最低。其餘的流體則由出風口流出。其中，兩入風口間的區域在設計上所必須注意的是，兩入風口間的距離不能過大，否則會造成下吹到兩槽面時，部分速度較快的反彈流體彼此對碰而形成對流，而將兩槽間的毒氣向上帶，使毒氣向上捲，且此現象不會因調整抽風口的流量變化有顯著的改善，且側排抽風口上方突出去的區域為進風口比較無法影響到的死角，向上捲的毒氣最容易囤積在此處。

單一抽風口面積 720 cm^2 的例子。圖 4-1 為裡側的尖頭形槽中央 $x-y$ 截面的毒氣濃度分佈圖。明顯的，毒氣皆往槽底方向沉積，因抽風口的流量夠大，所以毒氣不會向上捲。除了槽體周圍，其餘的區域濃度趨近於零，最關鍵的，毒氣沒有越過前擋牆，這對工作人員的安全是很大的保障(因工作人員工作時是站在以此視角而言 x 方向最裡面的外部區域)。此結果有達到預期標準。除了工作人員的安全，毒氣沉澱於槽底也可減少機台內部零件的損耗，因許多清洗液為高揮發

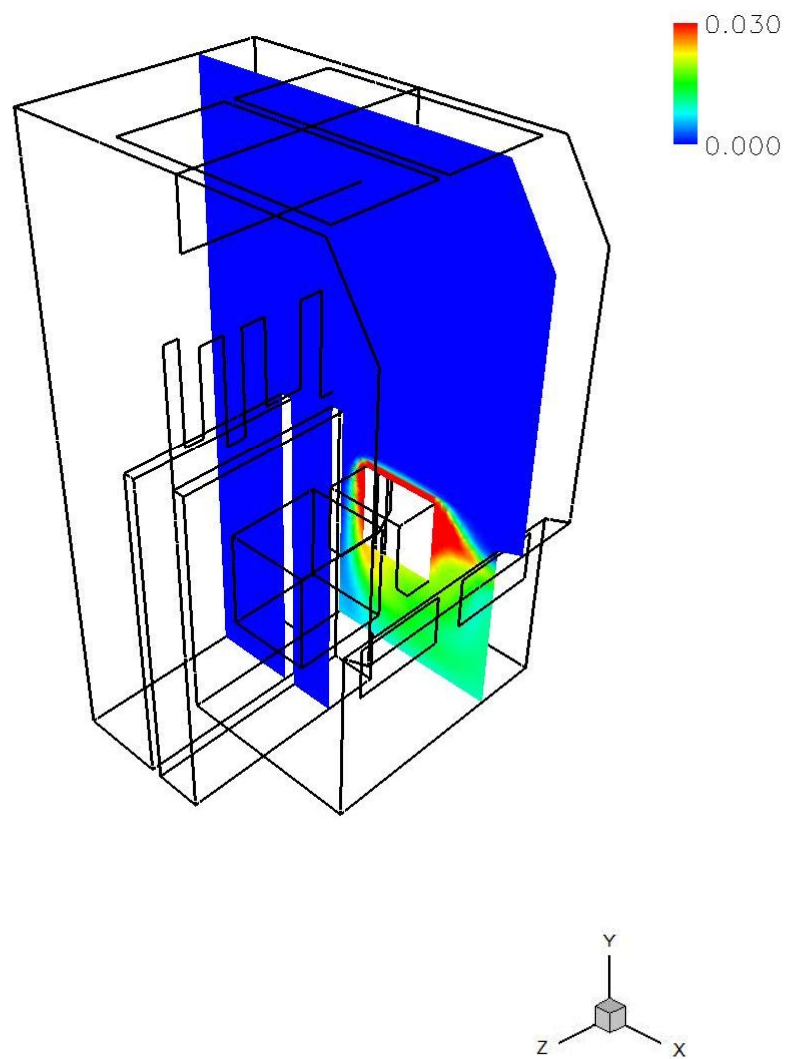
性的酸性物質，且又因許多清洗液為易燃物質，若毒氣無法有效沉積於槽底，而在系統中又有熱源的情形下，容易發生燃燒反應進而引起火災。由圖 4-1，毒氣在槽面剛溢出時，濃度為最大；故可以看出槽面及接近槽面之槽壁的濃度分佈有一很薄的鮮紅色層。在抽風口處分佈有明顯被抽拉出去的現象，鮮紅色濃度區域到抽風口間呈現噴嘴狀分佈；兩槽間的區域，因亦有受抽風口的影響，故濃度分佈亦呈現噴嘴狀。槽體的部分，濃度擴散就如同火山口噴出岩漿，越往槽底，濃度則越稀。圖 4-2 為兩槽間 $x-y$ 截面的毒氣濃度分佈圖。同樣的，毒氣也是往槽底沉積，此部分所累積的毒氣，主要是由方型槽及尖頭形槽面所擴散出的毒氣往間隙匯集累積所形成。接近抽風口處亦有毒氣被向外抽拉的趨勢。圖 4-3 為方形槽中央 $x-y$ 截面的毒氣濃度分佈圖，同圖 4-1，毒氣都往槽底沉澱。但其高濃度區域範圍比尖頭形槽區域大，鮮紅色層比較厚。由速度向量圖可以看出，進風口吹進來的空氣，大致上會因前擋板的阻隔而成兩方向流動。如圖 4-4 所示，明顯可以看出速度最快的部分為進風口、抽風口、及最裡側的出風口。進風口下吹的空氣，速度最快的部分越過兩槽的前緣邊，速度次快的部分直衝槽面，抽風口將系統中的氣體向外抽，流場分佈可以與圖 4-1 相對應。圖 4-5 與圖 4-4 比較，可以發現抽風口上方突出區域所形成的迴流稍微大些，因此區間沒有進風口向下吹氣，故此區域的流體有較多的空間可以相互運動。並且在進風口後側區域亦有迴流的形成。從前擋板後方明顯看出流體越過前擋板時有加速之現象至最裡側出風口。圖 4-6 與圖 4-4 速度分布趨勢大致相同。由圖 4-4、4-5、4-6 可看出，槽底下方的區域速度都較慢，這可對應毒氣向下沉積的情形。故由上 6 張圖，可得知在機台設計上，必須用抗腐蝕性的材料做為內部殼層，因酸性毒氣都帶有腐蝕性，長久沉積在槽底下方必會損壞機殼。使用一段時間後，仍必須對存積於槽底的毒氣做處理，因槽底空間有限，累積毒氣有一定的限度，至飽和時一定會擴散出來。另一方面，清洗液的選擇非常重要。若有若干種清洗液，清洗效率大致相同，則必選擇擴散率最低的為樣本。抽風口的相對位置也非常重要，為了有效抽風，抽風口不可設置高於槽面。故有些機台設計是在槽面上設置氣罩，使用局部

排氣，在槽面形成一氣廉(Air Curtain)，阻止有害物質蒸發，風量需求也較少，可節能，故有狹縫氣罩及吹吸式氣罩應用在各個製程[13]。

單一抽風口面積 504 cm^2 的例子，其抽風量較單一抽風口面積 720 cm^2 為少。由圖 4-7，抽風口上方突出區域，其濃度分部顏色為一塊絲狀的淡藍色區域，這代表因抽風口流量減少，部分無法被抽出的毒氣向上捲起並滯留，這是不理想的狀態，因為若捲起的毒氣越過前擋牆，則工作人員就很有可能吸到毒氣，而由圖 4-7、圖 4-8 與圖 4-9，皆可看出突出區域皆有一塊淡藍色分佈。故此，需要靠上擋板擋住毒氣。與圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 比較，圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 此突出區域分佈為全深藍色。至於前擋板區域，因必須讓機械手臂可以通過，故此板上有缺口，擋住毒氣的功能有限，大部分經過此板的毒氣會自缺口通過。所以根本解決之道還是得靠進風口與抽風口間的相互配合。捲起的毒氣除了會傷害工作人員外，其在機台內部(槽面上方)流動時，所經之處會腐蝕機台內部，比較圖 4-10 與圖 4-4，可以很明顯的看出，圖 4-10 越過尖頭形槽前緣的流速變慢，最快的流速區域主要都流進最裡側的出風口；比較圖 4-11 與圖 4-5，圖 4-11 最快的流體幾乎都沒有向抽風口方向流動，而是全部灌入最裡側的出風口，且比起圖 4-5 較接近進風口區域即開始加速。比較圖 4-12 與圖 4-6 可以很明顯的發現，圖 4-6 的最快流速向量有部分越過槽面前緣而連結至抽風口，而圖 4-12 同樣的位置最快流體分佈則呈現分離的現象。總體而言，單一抽風口面積 504 cm^2 的結果是不能採用的，雖然捲起的毒氣濃度不算嚴重，但工作人員若長期在此環境下工作，因吸收毒氣所造成的傷害仍然相當可觀。

單一抽風口面積 288 cm^2 的例子抽氣量最小。由圖 4-13、圖 4-14、圖 4-15 可看出，最高濃度的毒氣全往上捲起。做動畫截圖時，觀察到每個截面濃度分佈都是如此。明顯的，這是一個完全失敗的例子，濃度分佈跟上兩個尺寸有明顯的差異。圖 4-14，毒氣已經越過前擋板，自前擋板的缺口穿過去進入最裡側的出風口。毒氣因越過前擋板，在接觸時有被稍稍提托的現象，所以沒有進入較靠外側的出風口，同時也可看到上擋板完全沒有發揮作用，毒氣完全從它下方經過。

工作人員在此種情況下工作相當危險。圖 4-15，其鮮紅色濃度區域比圖 4-13 廣一些，而單看捲起的區域，可發現越往外側濃度越高；濃度由外而內遞減。這是由於槽面的毒氣在此狀態不太受抽風口影響，所以濃度最高的毒氣會往抽風口上方捲起，為逆時針方向捲起，此區域的毒氣又往機台內部擴散，故濃度呈由外而內慢慢遞減的現象。圖 4-16 對應圖 4-13 可看出，槽面上方的突出區域的流場分佈此兩圖彼此相呼應，圖 4-16、圖 4-17、圖 4-18，進風口的空氣最快速的部分幾乎全部朝最裡側的出風口流入，換言之，表示因抽風口流量實在太小，無法帶動進風口下吹的空氣越過槽面前緣，所以此部分的毒氣無法被往下壓，故槽面上方的突出區域所形成的迴流範圍也是三個尺寸中最大的。在實際機台的內部配置中，毒氣分佈的區域會擴及精密零件，且實際機台內部零件與外殼間有許多小隔層，若長期於隔層間累積毒氣，必會對其產生腐蝕，故此，許多廠商會在內部機殼上再加裝防蝕層，但此舉將非常耗費成本。而且在此情況下，晶圓無論進入槽中清洗或是自清洗槽中抽出的過程中，幾乎都浸在酸氣當中(因為蓋子在運作時還是有關閉的時間)，如此會降低蝕刻的效果。解決的方式為使抽風口流量增大或在兩槽間的區域的機台下側再加裝下排抽風口，迫使毒氣向下吸走。此外，擋板若無作用，即可忽略不裝。綜合由以上結果可以知道，當側排抽風口抽的量不夠時，毒氣會向上捲，因工作人員執行操作時是站在最裡側的出風口後方(從讀者看圖的角度而言)，如果毒氣越過前擋板與上擋板擴散至後方，則會對工作人員造成危險，同時也會損壞機台表面。由前述得到接下來的幾個結論:(1)上擋板的設計若在抽風效能很好時其實可以省略，節省成本。前擋板依此類推。(2)流量 $\dot{Q}=VA$ ，故在可以選擇的情形下(體積流率固定)，可以選擇將抽風口面積增大，而非增加抽速，可以較節省電力。(3)可改變配置，在兩槽間的底部處再加裝下排抽風口，抽氣效果會更好，因兩槽間的區域最容易造成毒氣捲起。取單一抽風口流量 $0.0504 \frac{m^3}{s}$ 的配置，再於兩槽體間底部外加一面積 $528 cm^2$ ；流速 $0.7 m/s$ (-y 方向)；流量為 $0.03696 \frac{m^3}{s}$ 的下側抽風口。濃度分佈如圖 4-80。

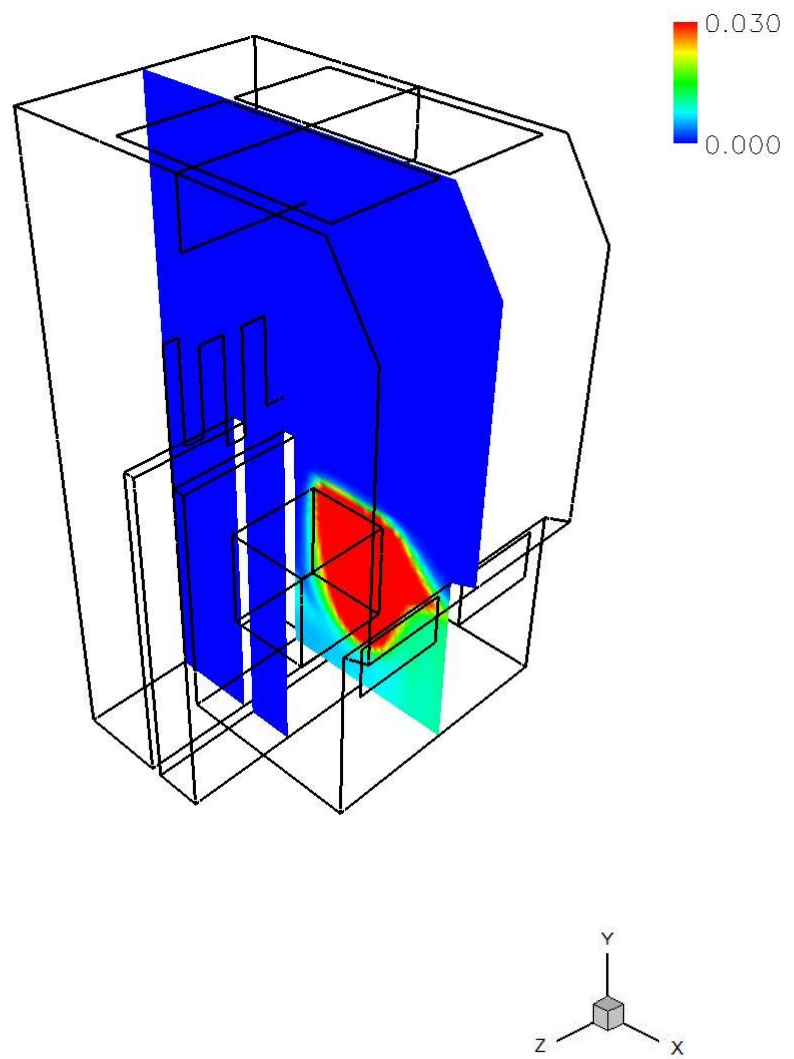


單一抽風口面積 720 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.0504\text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508\text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-1 尖頭槽中央截面濃度分佈圖

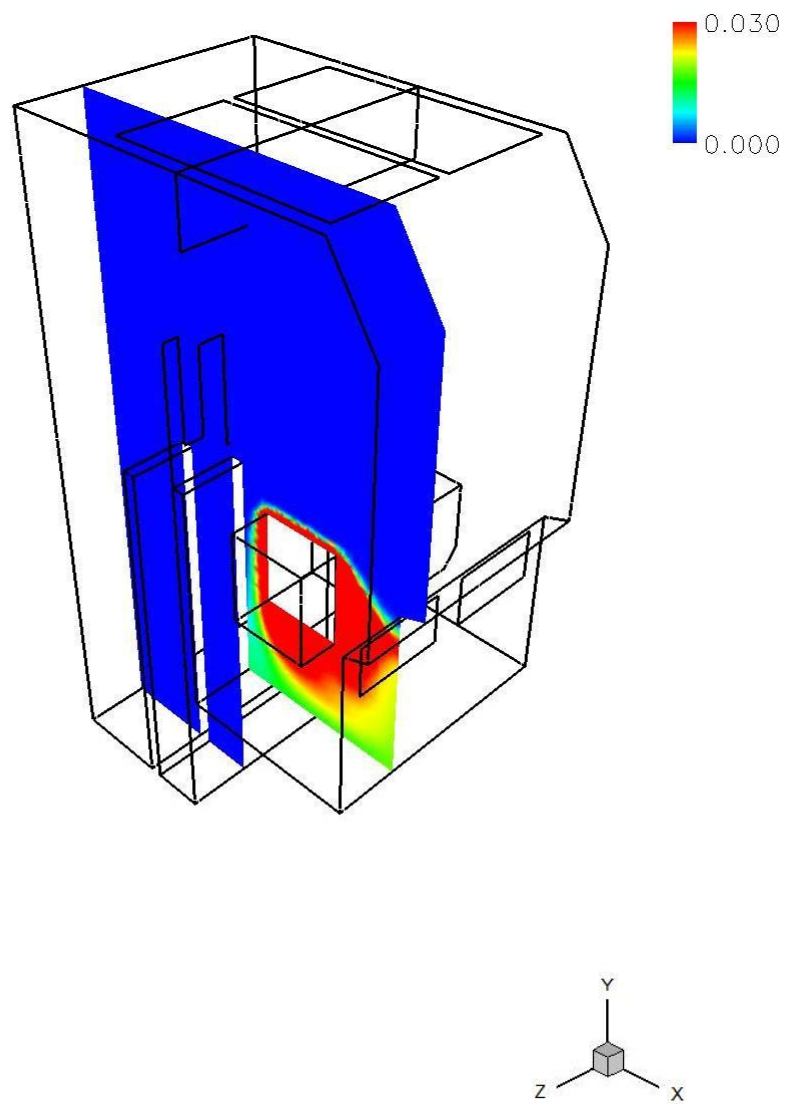


單一抽風口面積 720 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.0504\text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508\text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-2 兩槽間截面濃度分佈圖

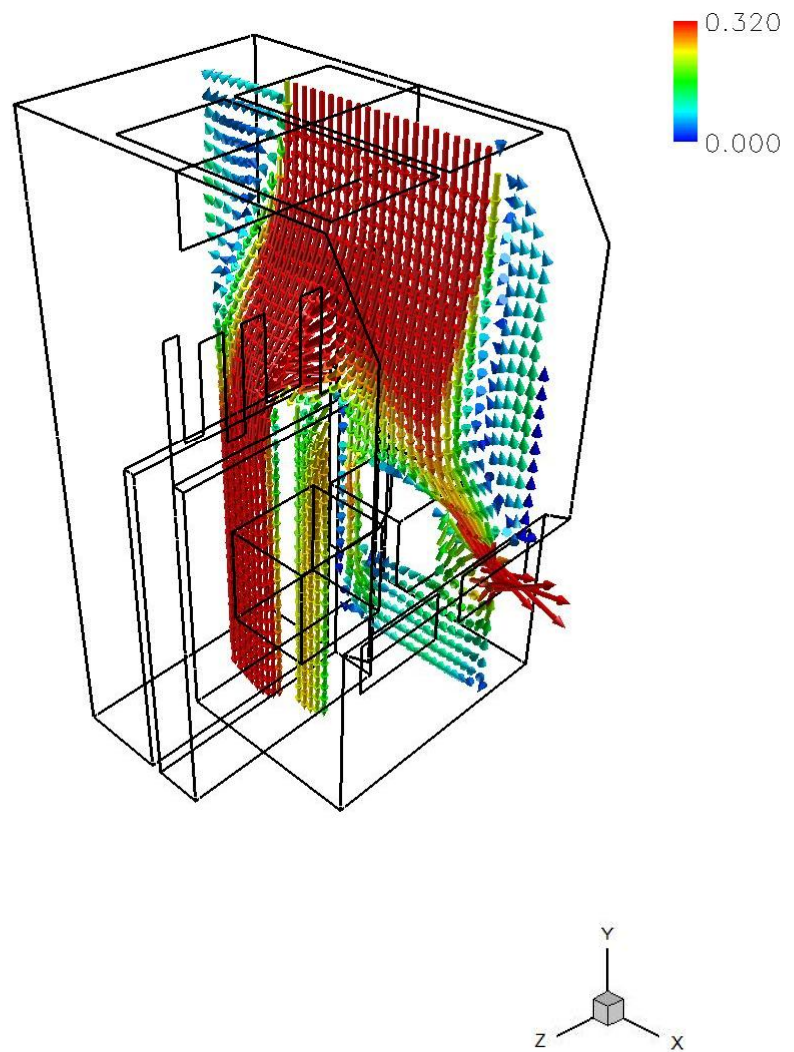


單一抽風口面積 720 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.0504\text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508\text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-3 方型槽中央截面濃度分佈圖



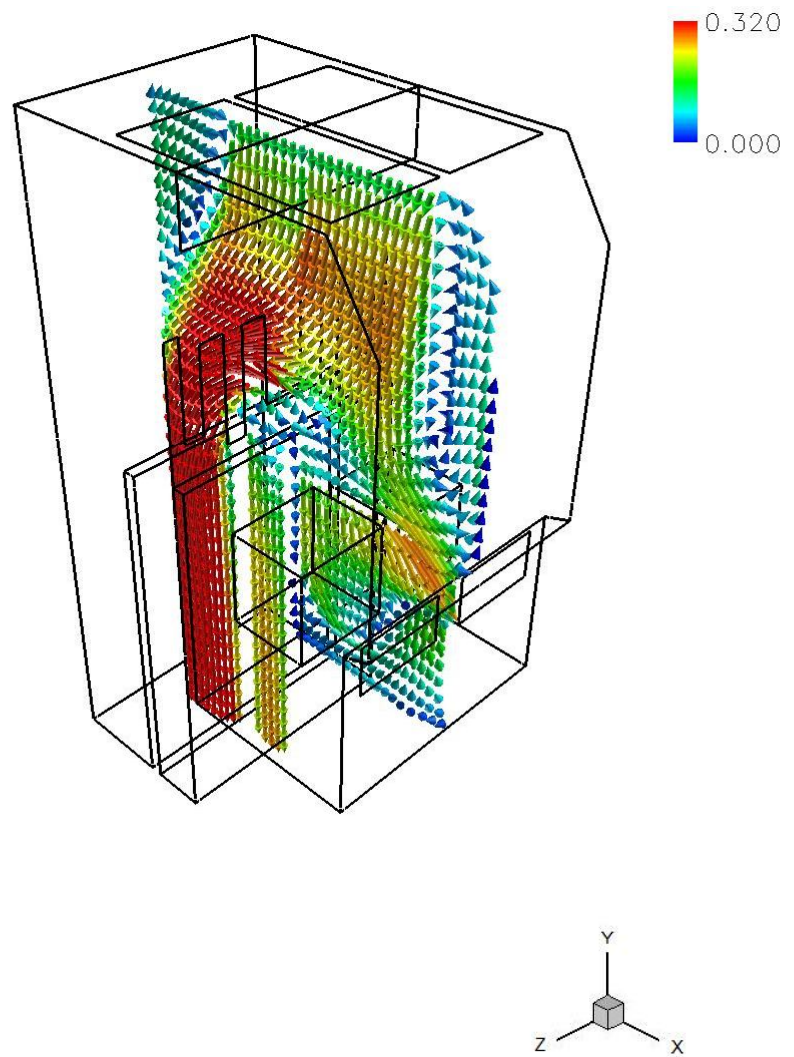
單一抽風口面積 720 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.0504\text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508\text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-4 尖頭槽中央截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)



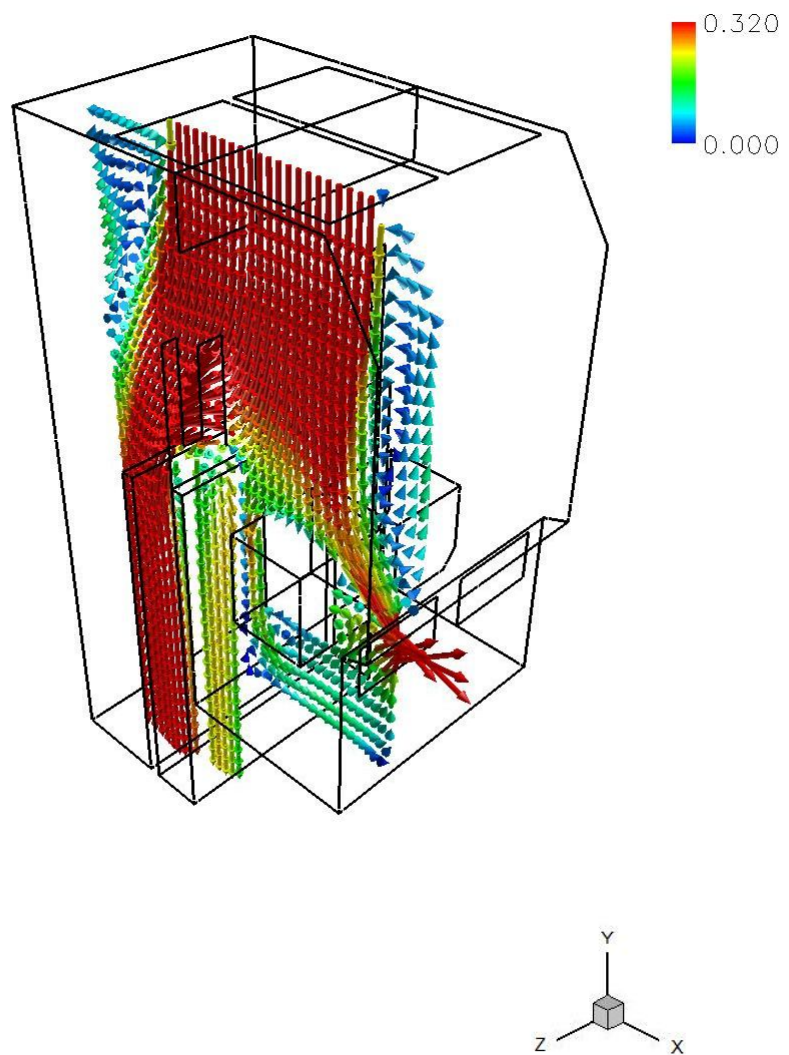
單一抽風口面積 720 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.0504\text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508\text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-5 兩槽間截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)



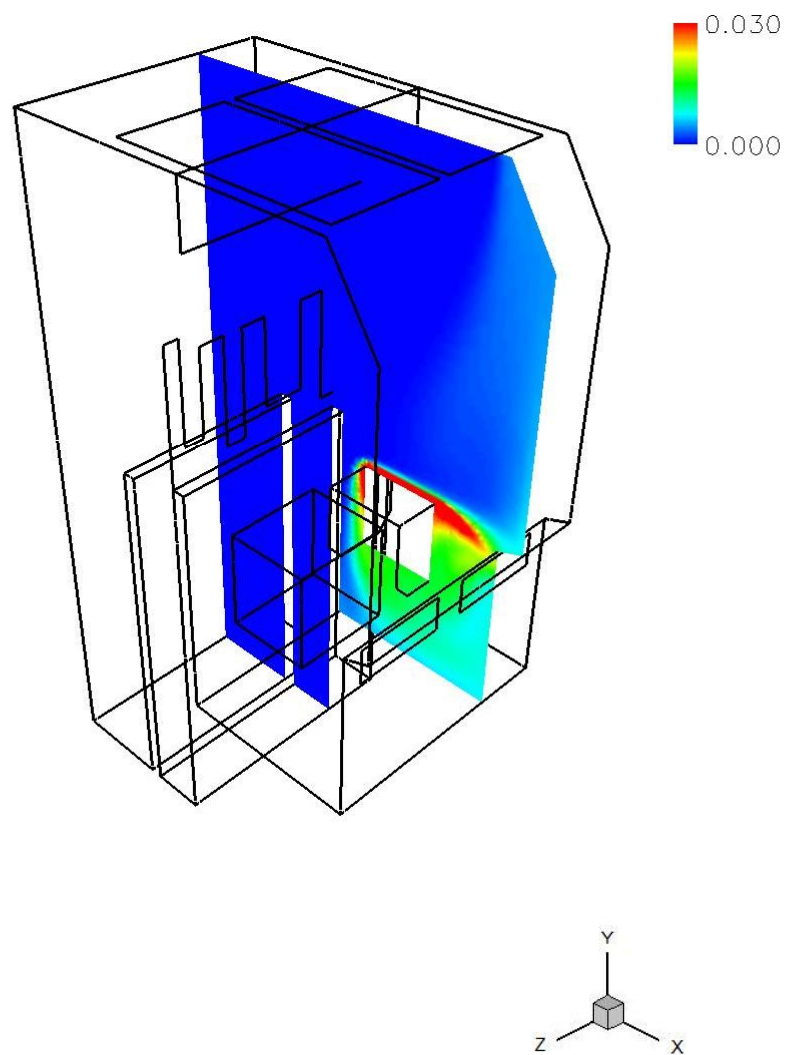
單一抽風口面積 720 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.0504 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-6 方型槽中央截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)

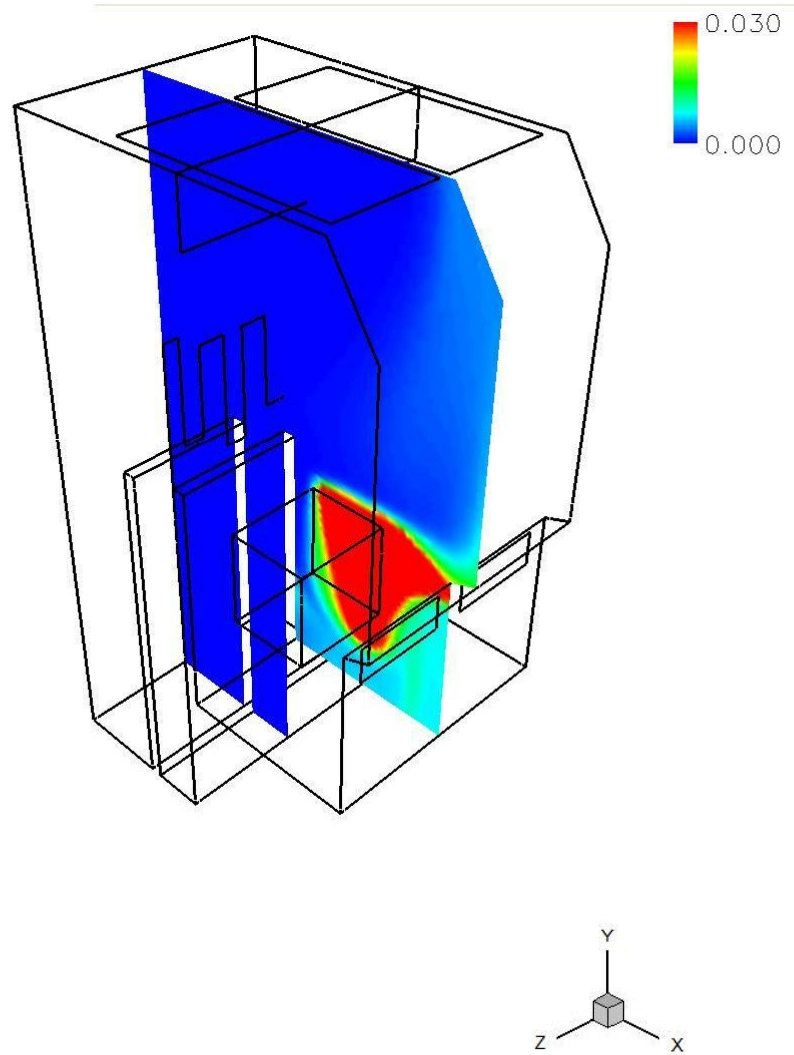


單一抽風口面積 504 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.03528 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-7 尖頭槽中央截面濃度分佈圖

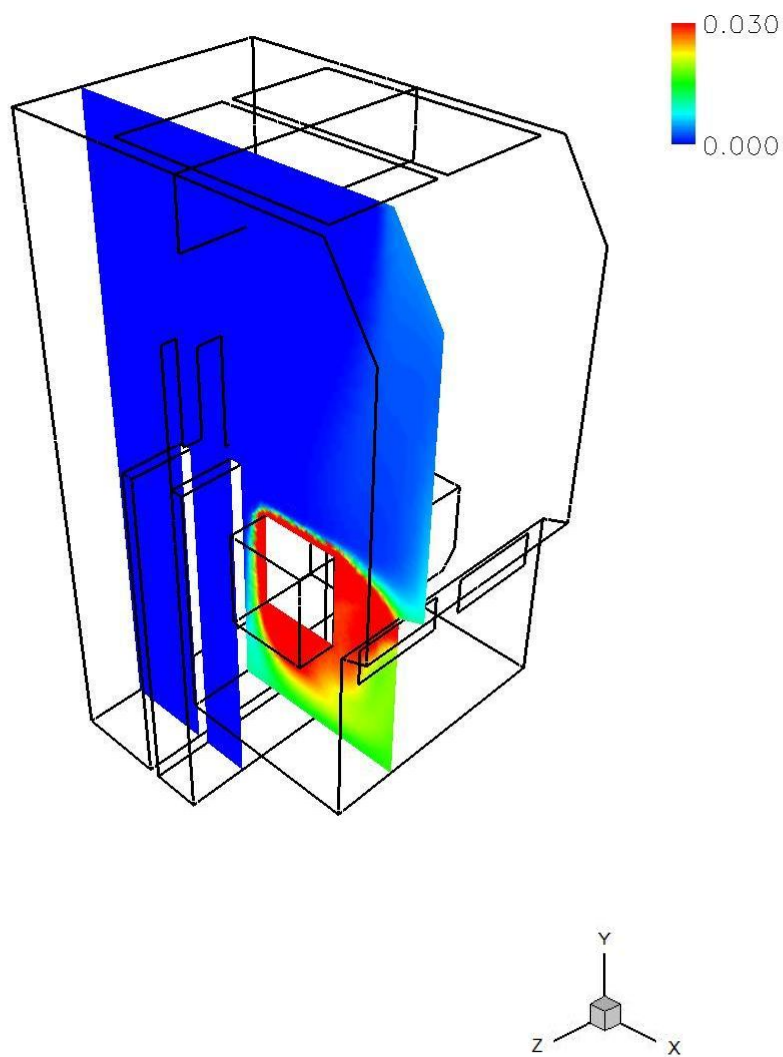


單一抽風口面積 504 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.03528 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-8 兩槽間截面濃度分佈圖

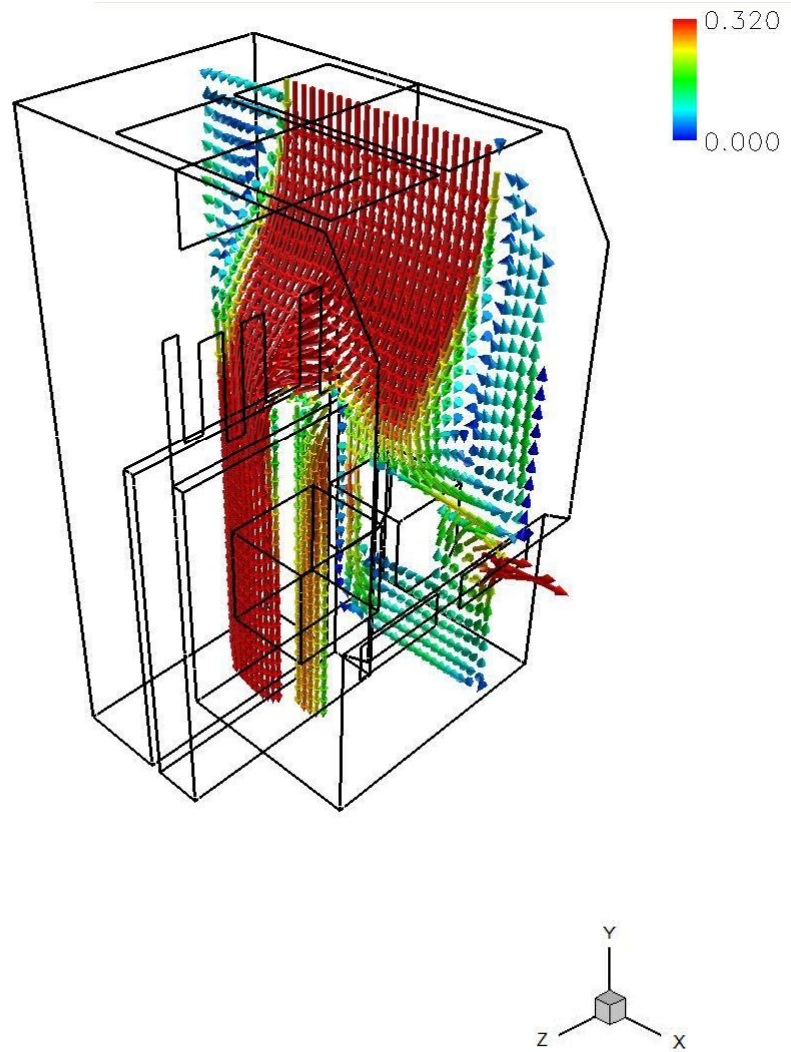


單一抽風口面積 504 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.03528 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-9 方型槽中央截面濃度分佈圖



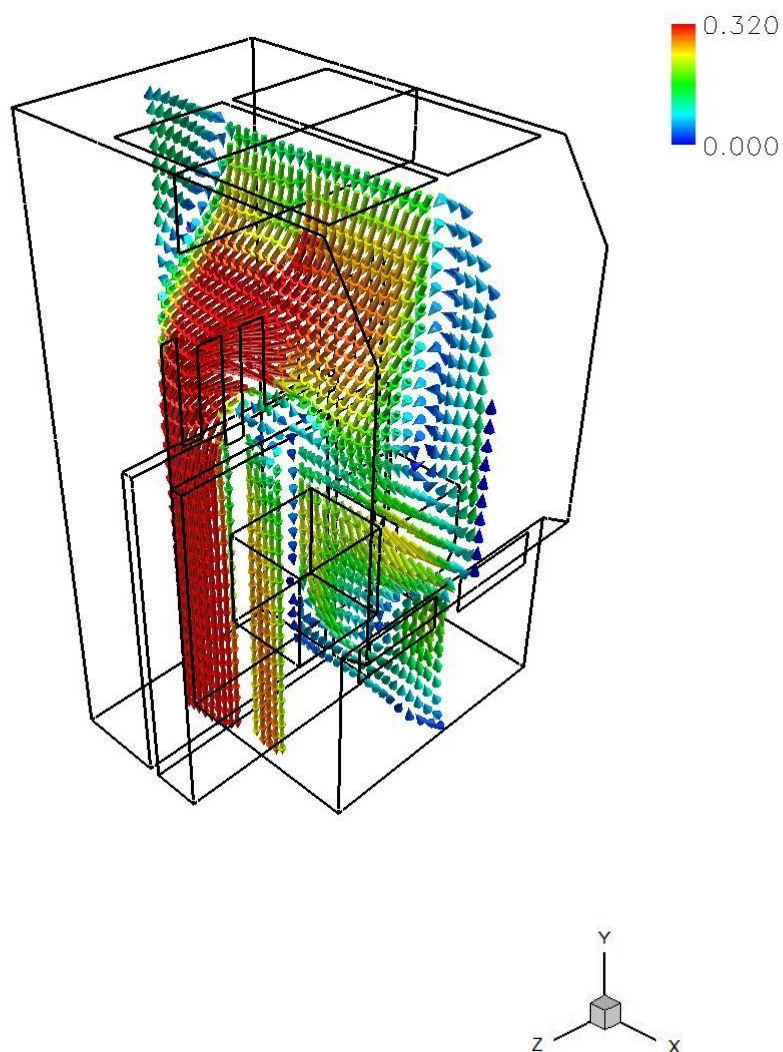
單一抽風口面積 504 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.03528 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-10 尖頭槽中央截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)



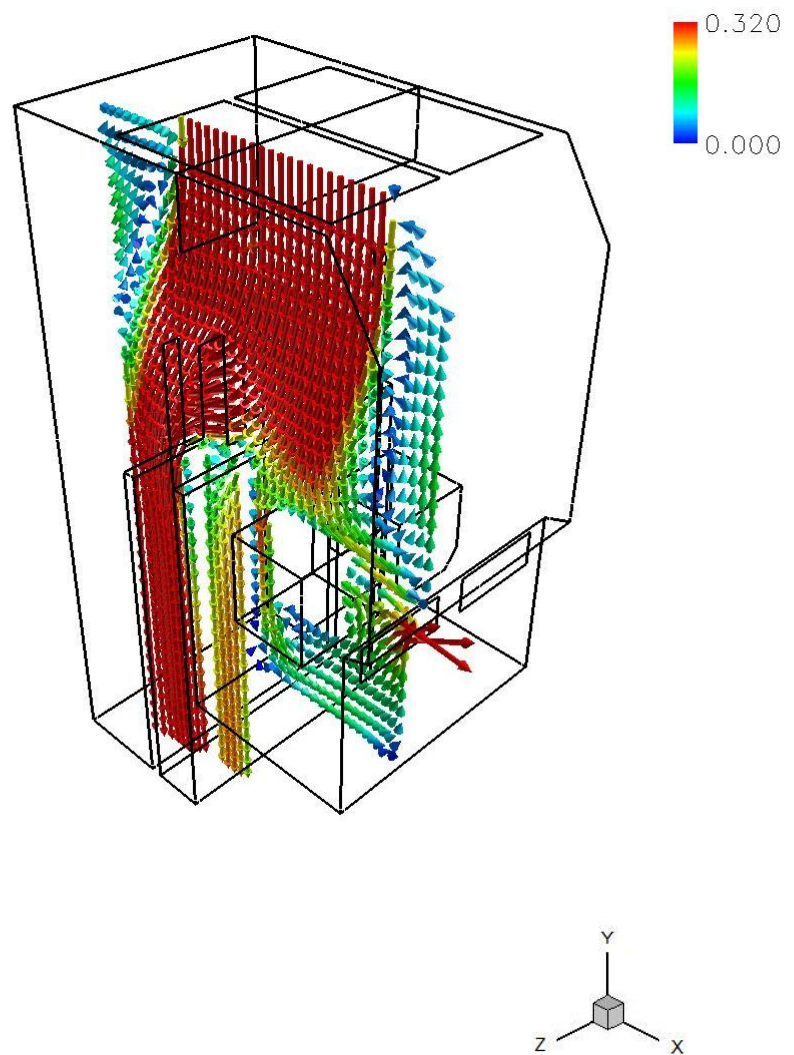
單一抽風口面積 504 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.03528 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-11 兩槽間截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)

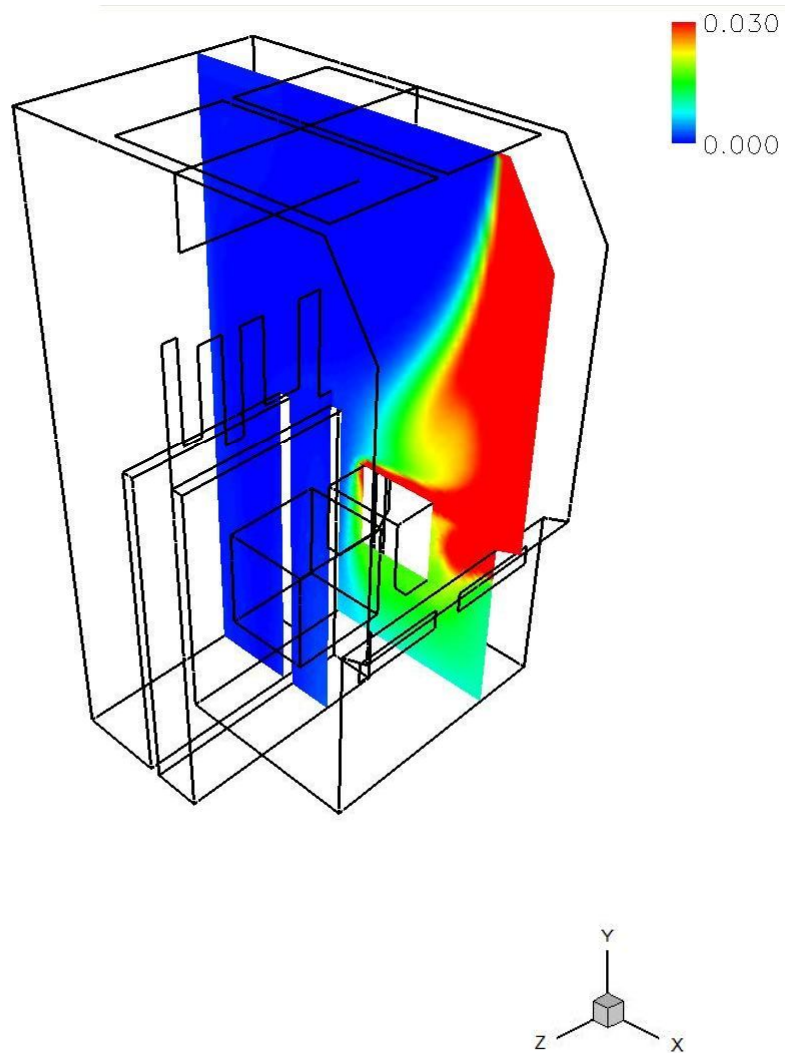


單一抽風口面積 504 cm^2 。

單一抽風口流量 $0.03528 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

圖 4-12 方型槽中央截面速度向量分佈圖
(單位 m/s)

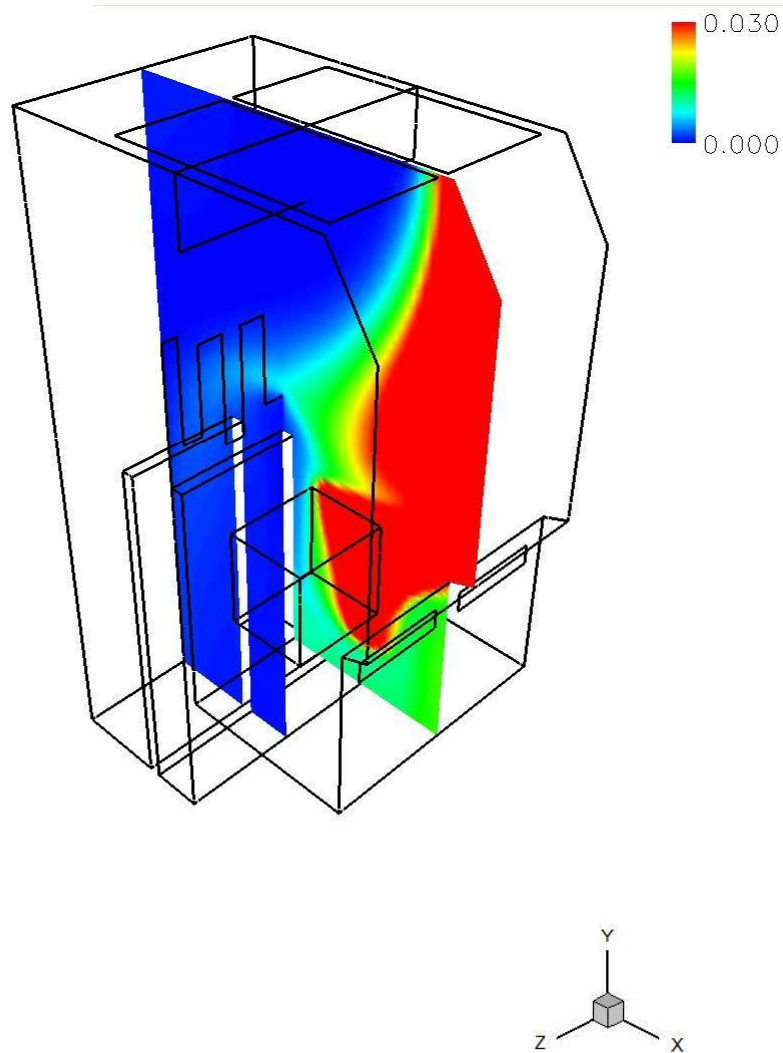


單一抽風口面積 288 cm^2

單一抽風口流量 $0.02016 \text{ m}^3/\text{s}$

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-13 尖頭槽中央截面濃度分佈圖

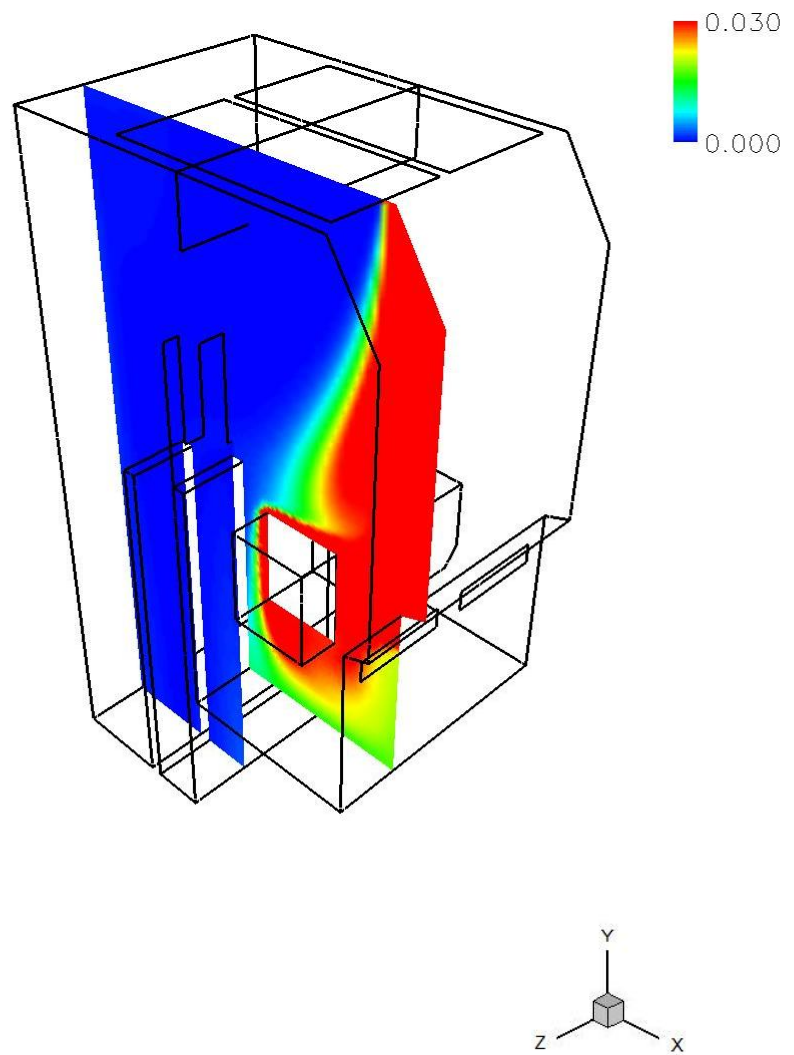


單一抽風口面積 288 cm^2

單一抽風口流量 $0.02016 \text{ m}^3/\text{s}$

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-14 兩槽間截面濃度分佈圖

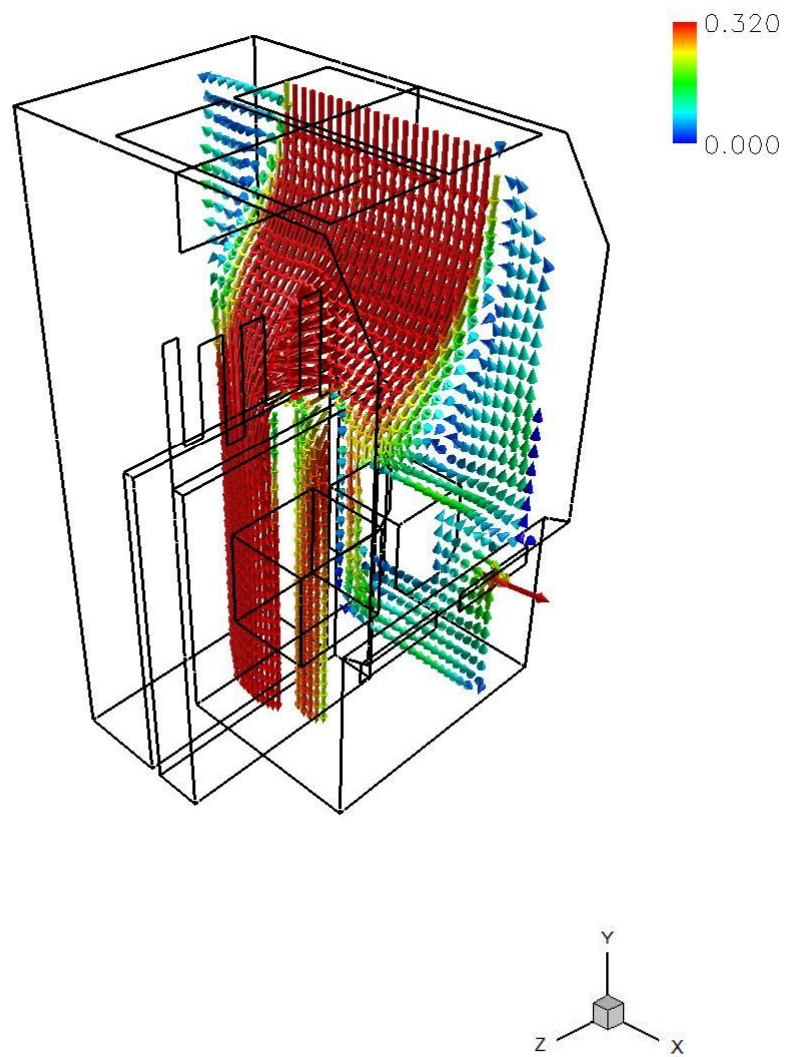


單一抽風口面積 288 cm^2

單一抽風口流量 $0.02016 \text{ m}^3/\text{s}$

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-15 方型槽中央截面濃度分佈圖



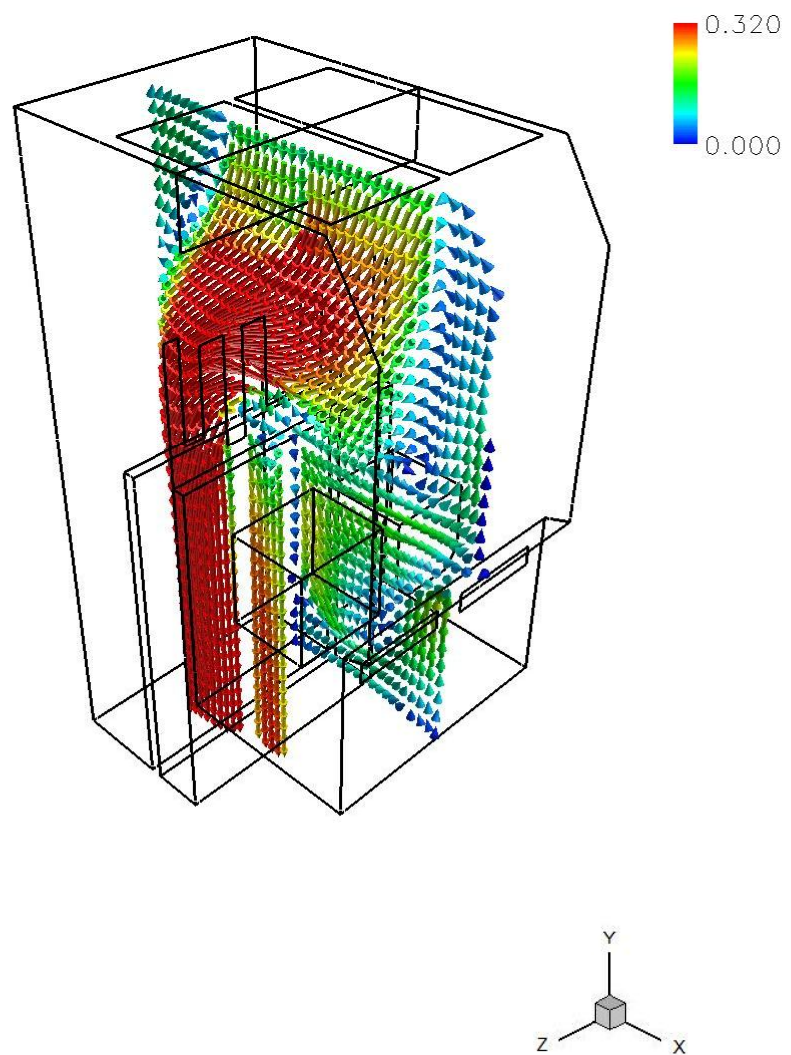
單一抽風口面積 288 cm^2

單一抽風口流量 $0.02016 \text{ m}^3/\text{s}$

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-16 尖頭槽中央截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)



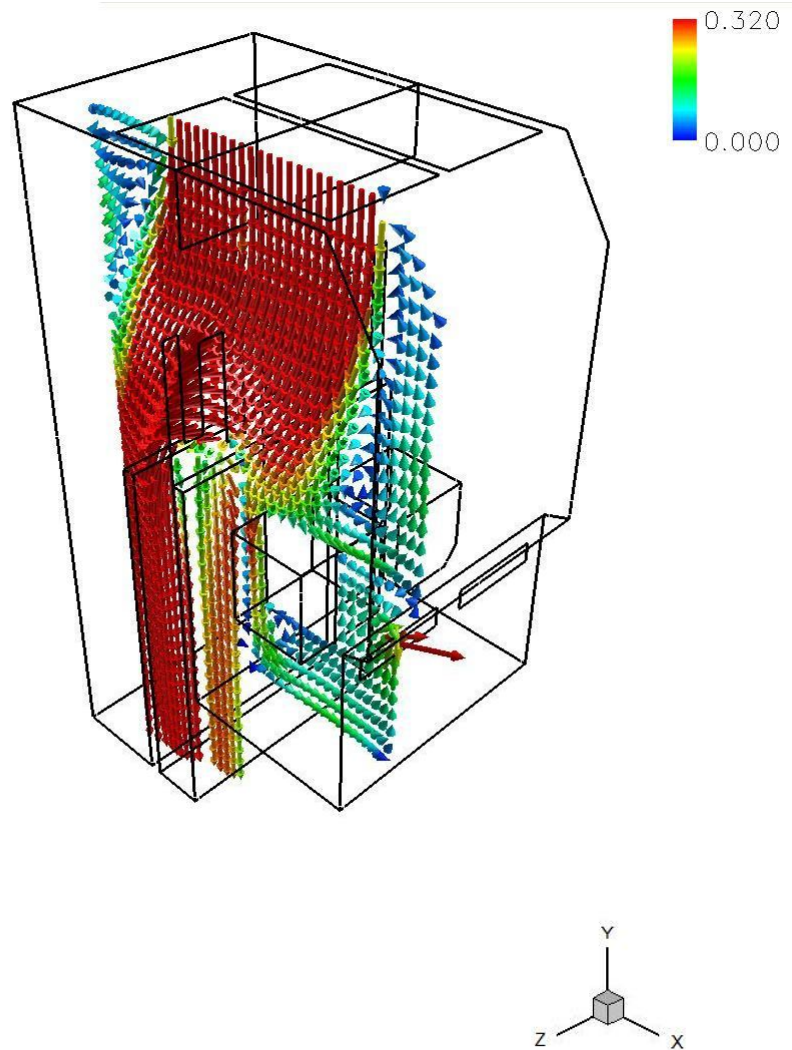
單一抽風口面積 288 cm^2

單一抽風口流量 $0.02016 \text{ m}^3/\text{s}$

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-17 兩槽間截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)



單一抽風口面積 288 cm^2

單一抽風口流量 $0.02016 \text{ m}^3/\text{s}$

單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-18 方型槽中央截面速度向量分佈圖

(單位 m/s)

4-2 移動網格部分：

在建立轉動模型前，會先嘗試建立基本的平移移動，再循序漸進至轉動。以下為建立移動網格的步驟：(1)先建立二維平移的 case，測試能否移動，因平移為最基本的移動方式，平移成功後，就進入到轉動部分。(2)建立簡易二維旋轉模型(尺寸自訂)，在流場中設立一個板子，觀察其來回擺動對流場造成的影響。(3)建立一個精確的二維加蓋子的清洗槽模型，先測試是否可以轉動，並且加入濃度模式，觀察毒氣因蓋子轉動所造成的擴散情形，並且會嘗試 3 種不同的轉速，觀察濃度分布的差異。(4)二維階段完成後，建立簡易三維旋轉模型。(同樣在流場中設立一個板子，觀察其轉動對流場造成的影響)(5)建立一個精確的三維清洗槽，先測試是否可以轉動，並且加入濃度模式，觀察毒氣因蓋子轉動所造成的擴散情形。圖 4-19 與圖 4-20 為利用 STAR CD 所做的簡易轉動模型的模型圖及示意圖。基本上此方法並不實用，因為要在整體系統中，空出一大塊空間建立 EVENT，換言之就是必須建一塊區域”掛”在槽體外殼，與實際模型的結構有很大的差異，而 FLUENT 則在系統中直接規劃出轉動區域，建模較容易。故經過比較後，決定使用 FLUENT 來模擬。其中，三維的網格移動所要帶動的格點相當多，所以非常容易出現負體積，尤其是三角型非結構網格，因為非結構網格移動無法預測下一時間點的格點位置，所以只能一次從開始移動到結束，無法避開可能形成負體積的時間點，且移動軌跡較不規則。若為結構性網格，則可預測可能形成負體積的時間點，可以事先避開掉；或是直接以 Layering 方式移動，但前章結果已證明此方式只適用於線性運動，移動方式只能使用 Remeshing 與 Smoothing。三維的部份，以本模型而言，要建構的網格，數量至少需三百多萬，網格數相當多，很難控制內部網格品質，難度很高。故以二維模擬先做為主要理想化探討項目，因為二維側面模擬，故在前擋板的部分，無法做出缺口，二維的概念為以此側面延伸至單位深度 1m，換言之，前擋板視為深度 1m 的板子。故在未來若要加入機械手臂模擬，則一定得做三維模擬。模擬二階段式的平移移動。

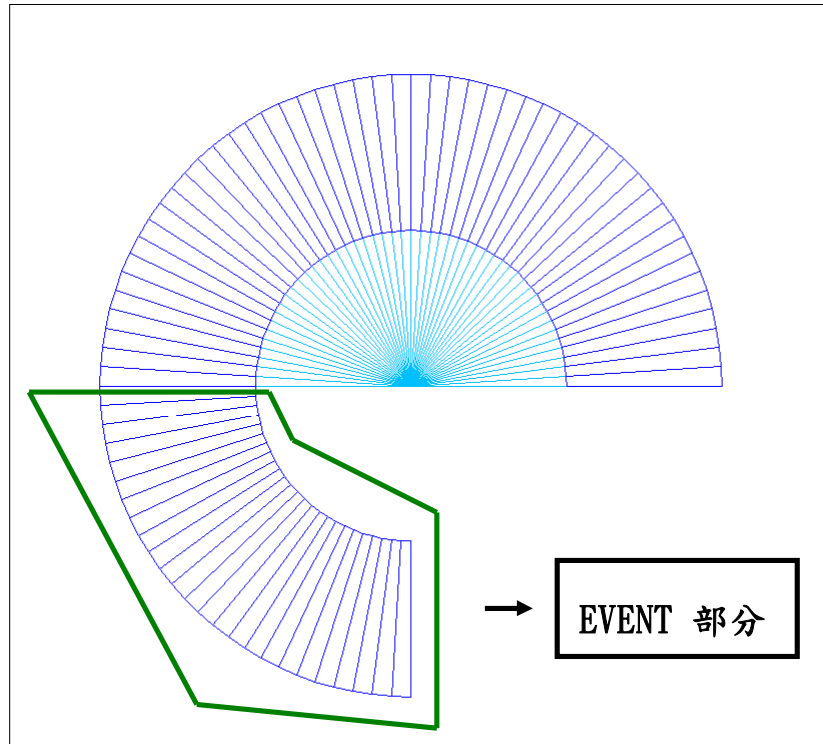


圖 4-19 STAR CD 旋轉板子模型圖

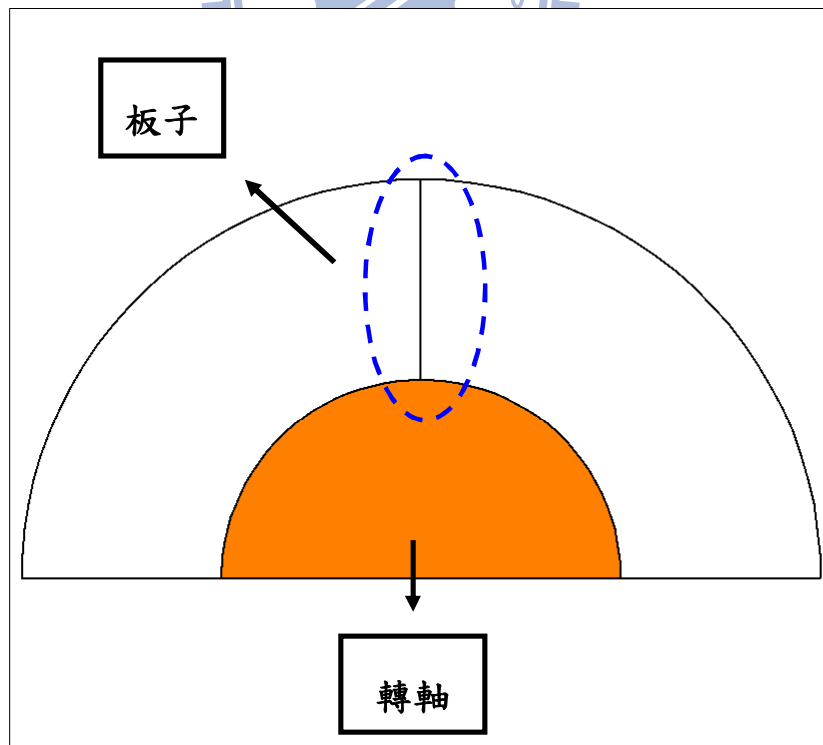


圖 4-20 板子示意圖

以下先利用 FLUENT 做一簡易轉動模型。在系統中放置一板子，板子先以 1.2rad/s 順時針轉，再以 1.2rad/s 逆時針往回轉，以達到來回擺動的目的，系統左側為壓力進口，右側為壓力出口。自開始順時針擺動至 1.5 秒時，板子逆時針往回擺至 3 秒，再順時針擺，擺至 4.5 秒時，再次逆時針向回擺至終點。若要整個系統反轉，則只需在副程式中將初末速度設定差一個負號即可。圖 4-21~圖 4-26 為在轉動過程中網格的拉伸與壓縮，可以很明顯的看出，順時針擺動時，板子前方的網格壓縮，板子後方的網格拉伸，其移動方法同時使用 Smoothing 及 Remeshing 法。圖 4-27~圖 4-32 為六個 time steps 的速度向量分佈圖，可以看出在來回擺動的過程中，流體會因擾動而在蓋子前端形成渦流，且板子上的流速為最大，若將板子視為蓋子，將渦流視為因蓋子開閉所擾動的流體，蓋子的擺動會帶毒氣向上捲，所以要設法將毒氣沉於槽底，故將此概念應用到清洗台上。

在二維模型中，在槽體的上方置一個蓋子(間距 0.01m)，整體模型切三角形非結構網格。分別將蓋子初始轉速設定成 0.3rad/s 、 0.6rad/s 、 0.9rad/s 。使用 Remeshing 及 Smoothing 方式轉動，比較不同轉速對濃度分佈的影響。其中清洗液設定為鹽酸，且液面為九分滿。因三維轉動時，網格變形非常大，所以先探討二維簡化模型。轉動方向為一開始逆時針向上轉，轉至最大角度後，再順時針向下反轉。因非結構網格在壓縮與拉伸會有較大的限制，所以蓋子轉動較不規則，且在轉軸處無法完全密合，必須留一小空間讓網格變形，但實際機台轉軸與槽面間也是有縫隙存在，故此模型不至於太過失真。但若用 STAR CD 的滑移方式或 Layering 轉動(事實證明失敗)，則可解決這些問題。此外，必須將座標軸原點定為轉軸，蓋子才會移動，且轉動時間要控制好，轉動角度若過大，則蓋子會“浮離”轉軸。因雙片同時轉動亦容易出現負體積，且網格無法進行兩邊同時拉伸，故此先做簡化單片討論。其中，抽風口大小與邊界條件以單一抽風口 720cm^2 的 $x-y$ 截面尺寸為準做二維模擬。即取三維中合格的尺寸與邊界條件轉換至二維平面模擬。

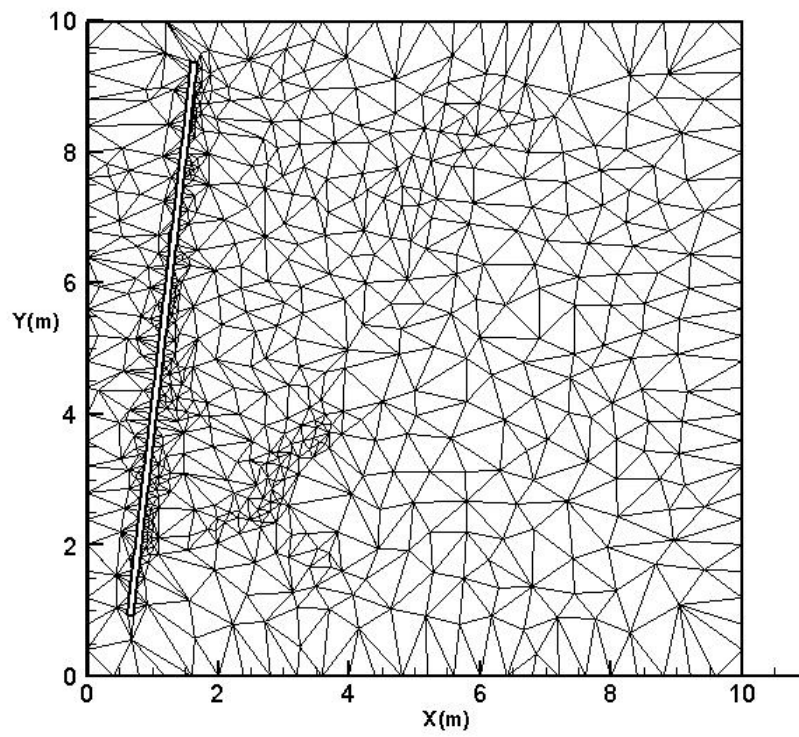


圖 4-21 0.1 秒時網格拉伸與壓縮圖

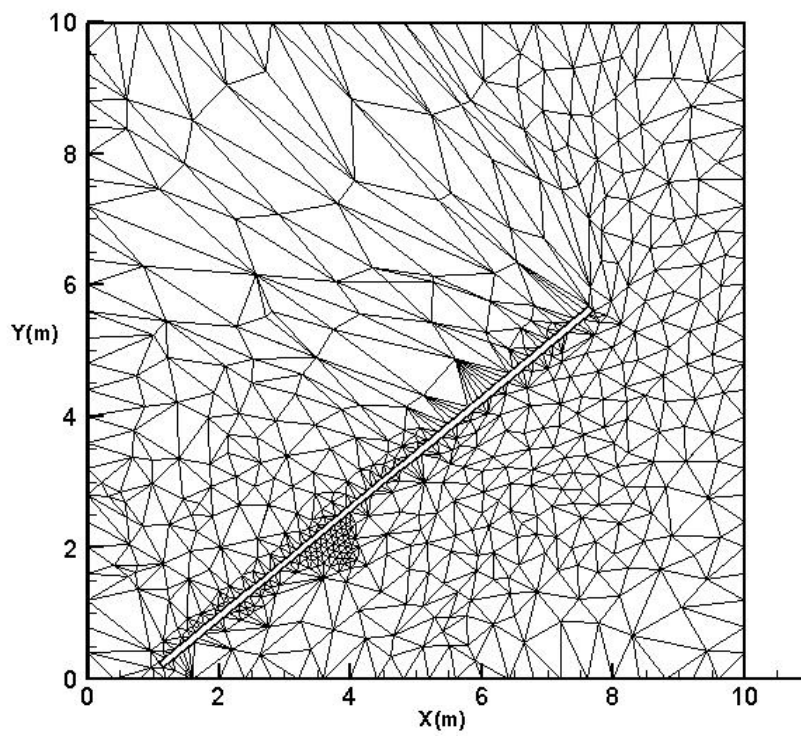


圖 4-22 1.3 秒時網格拉伸與壓縮圖

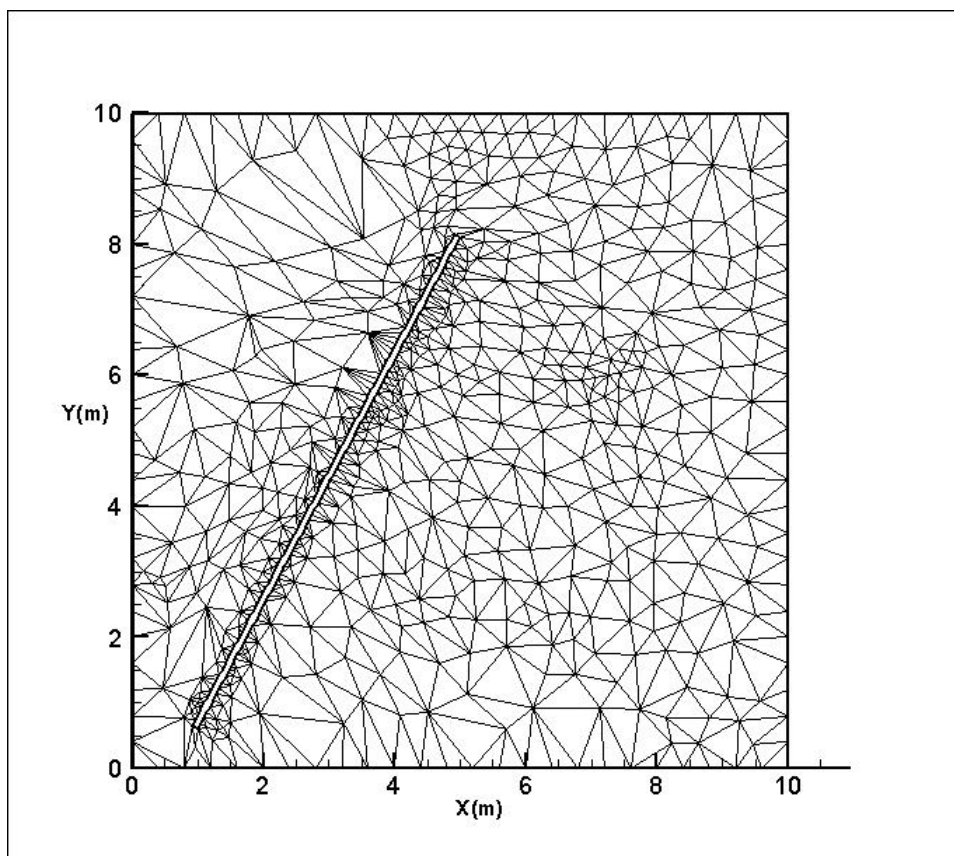


圖 4-23 2.5 秒時網格拉伸與壓縮圖

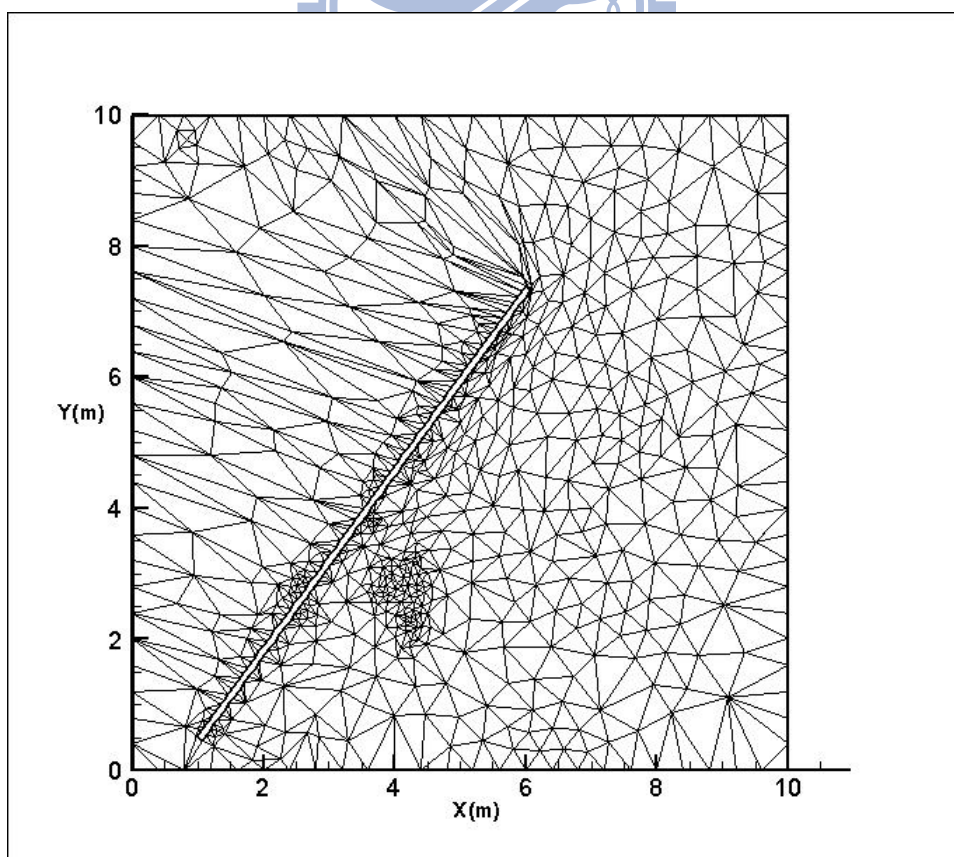


圖 4-24 3.7 秒時網格拉伸與壓縮圖

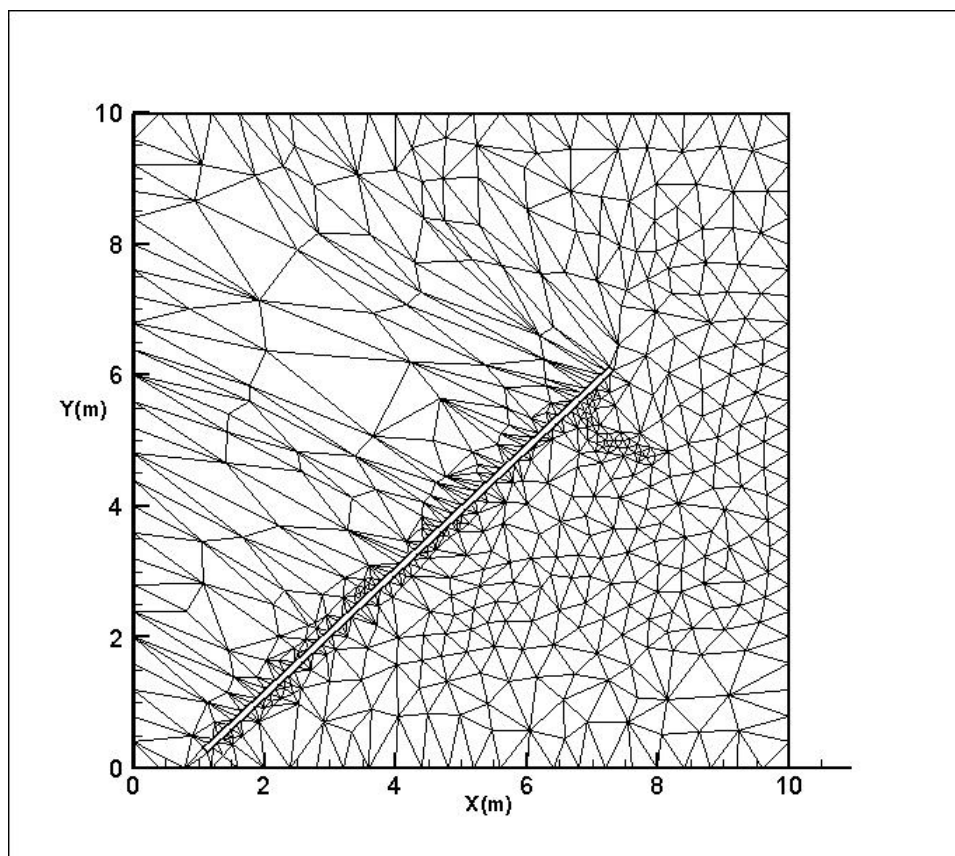


圖 4-25 4.9 秒時網格拉伸與壓縮圖

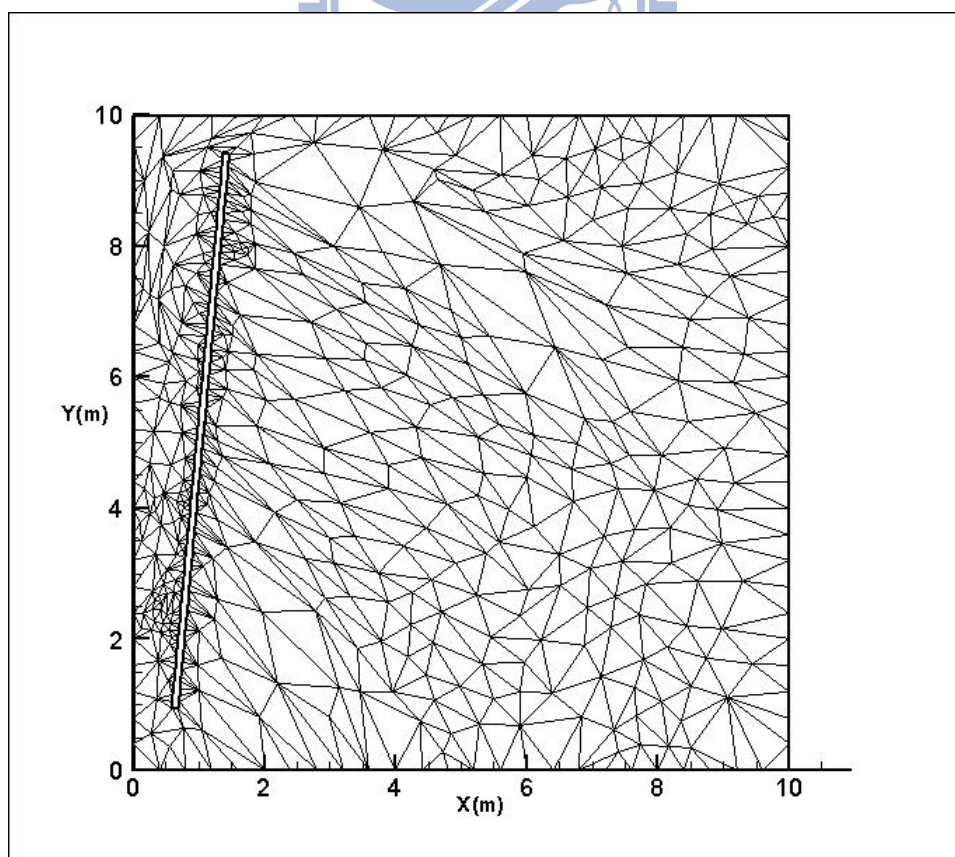


圖 4-26 5.9 秒時網格拉伸與壓縮圖

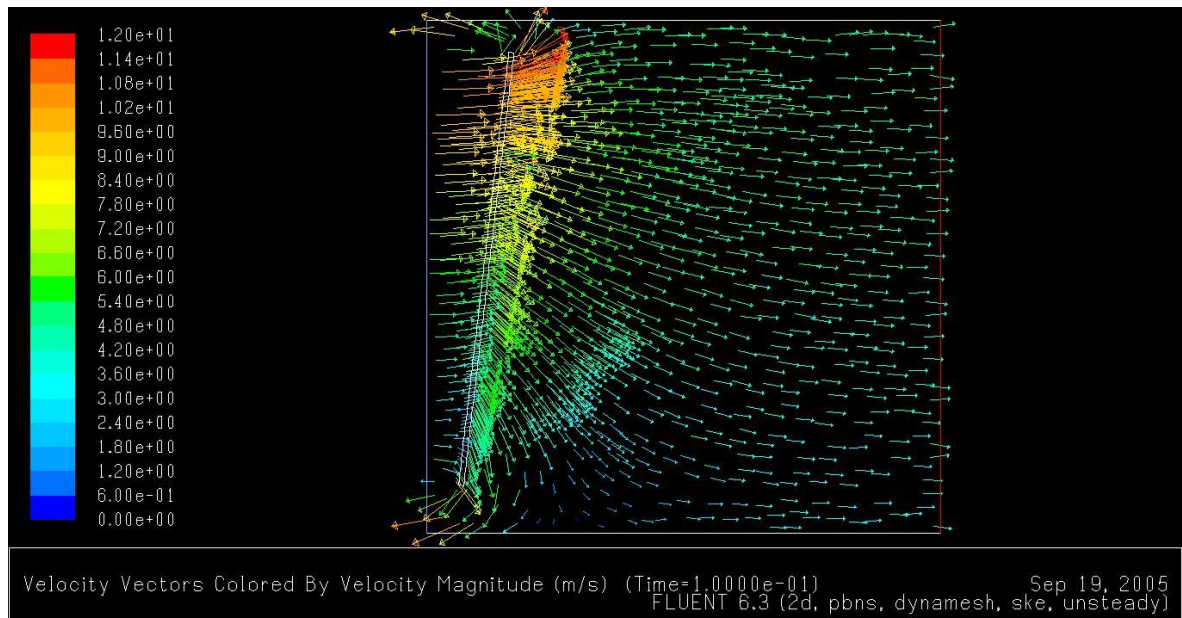


圖 4-27 0.1 秒時速度向量圖

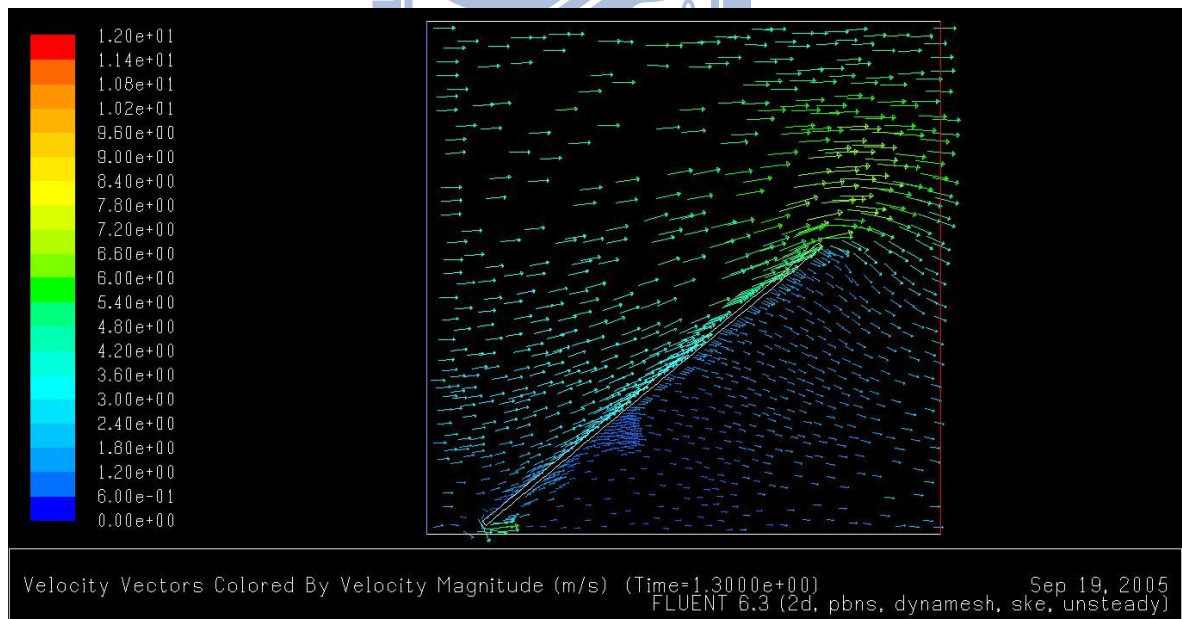


圖 4-28 1.3 秒時速度向量圖

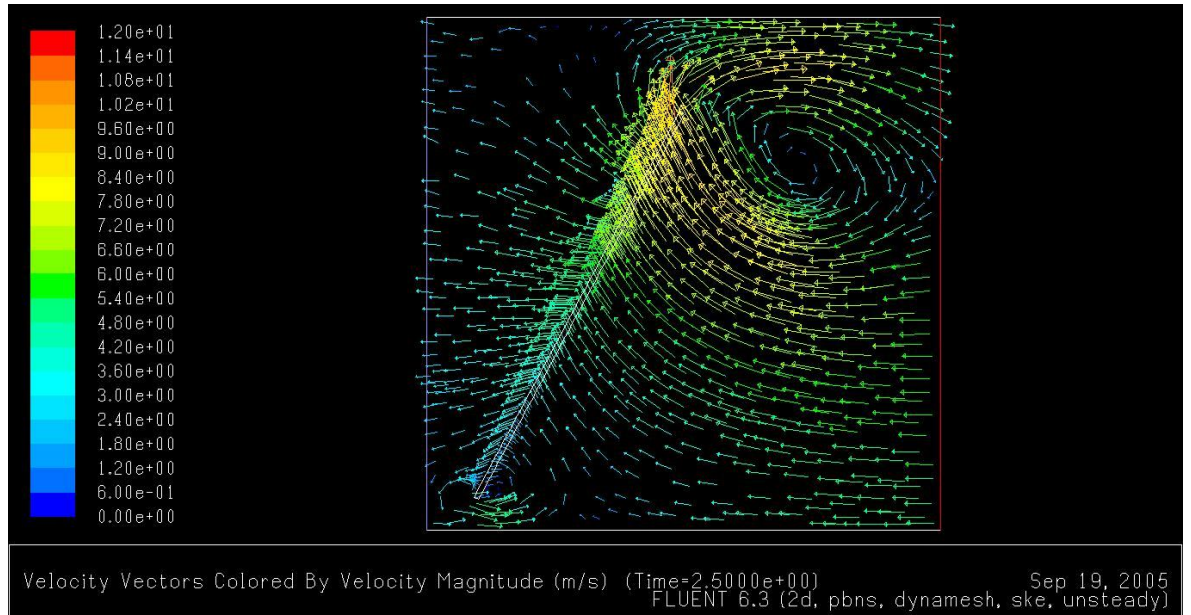


圖 4-29 2.5 秒時速度向量圖

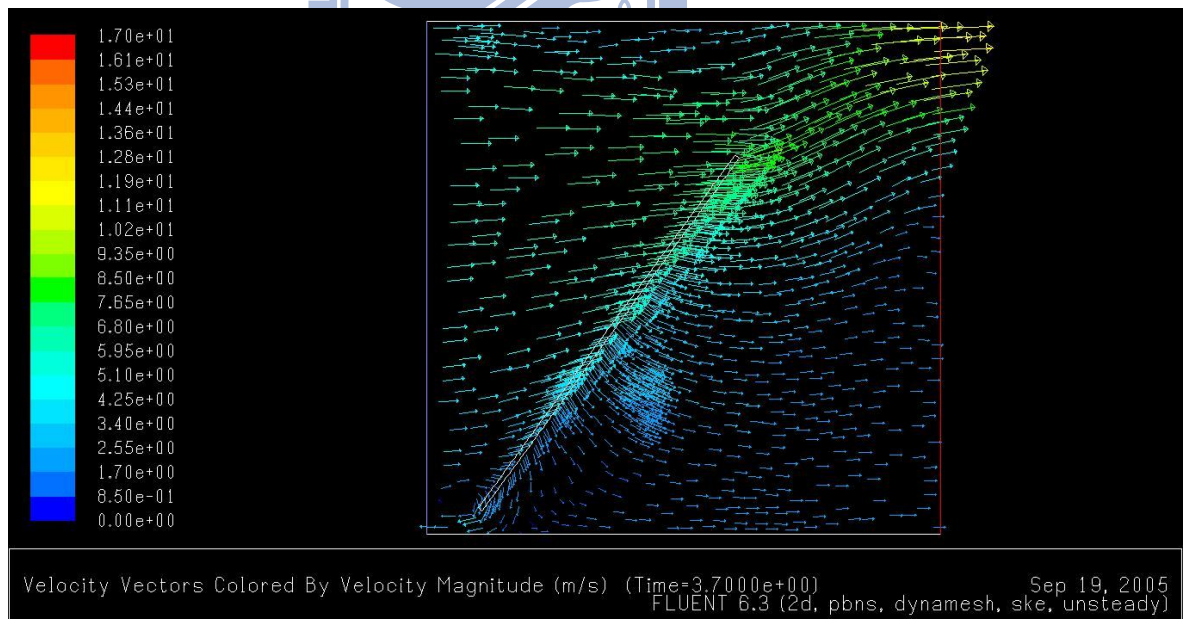


圖 4-30 3.7 秒時速度向量圖

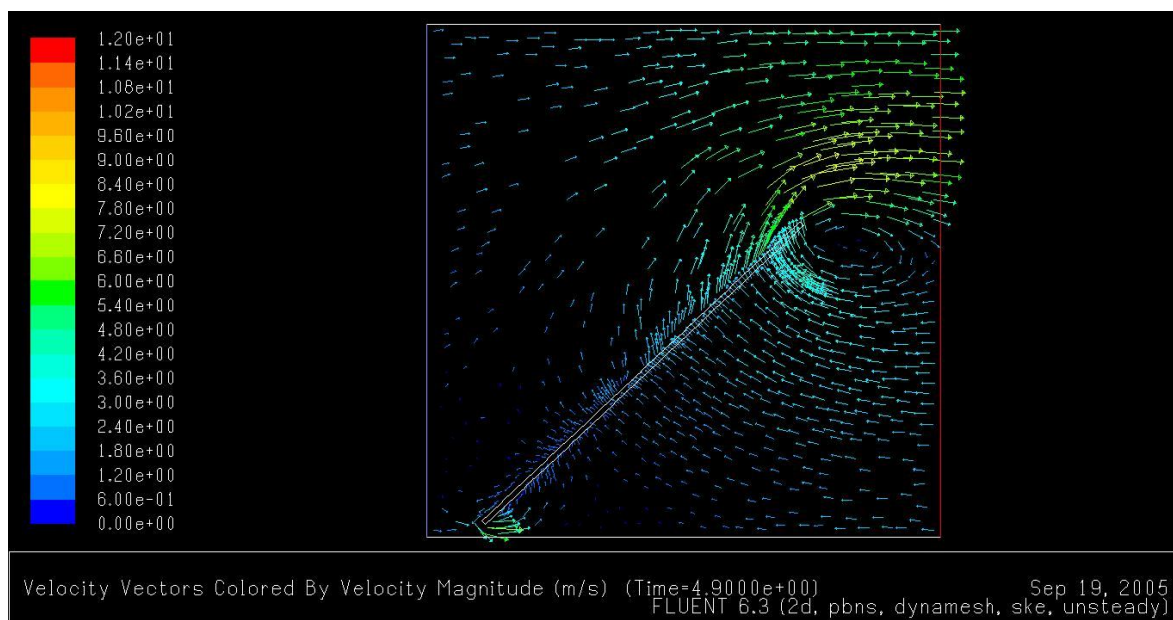


圖 4-31 4.9 秒時速度向量圖

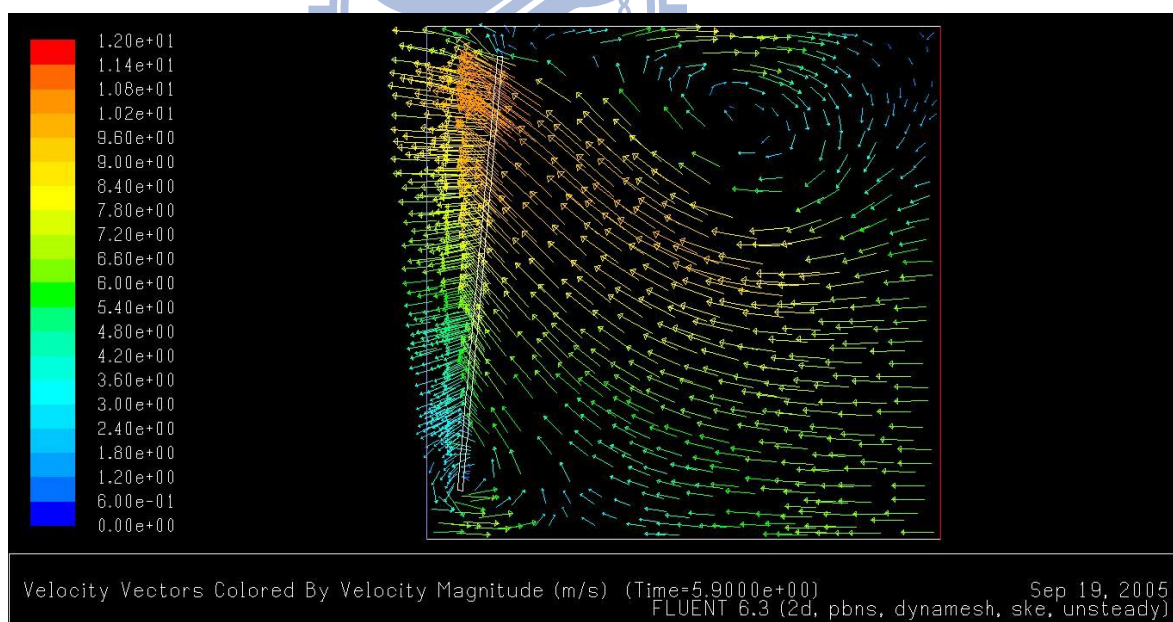


圖 4-32 5.9 秒時速度向量圖

假設系統一開始抽風口與進風口皆沒運作，槽體內充滿鹽酸自蓋子與槽面間的縫隙擴散出來的毒氣，啟動進風口與抽風口後，系統逐漸達至穩態，亦即除了槽體內，其餘部分濃度趨近於零，此時蓋子才轉開，接著又有毒氣自槽體內擴散出來，當蓋子打開至最大角度時，會停止接著開始反轉，反轉的過程中因蓋子下壓的力量使毒氣繼續被推擠出來，當蓋子閉合後，槽外會有殘留的毒氣。最後，抽風口將殘餘的毒氣抽走，再度達到穩態。圖 4-33~圖 4-47 為二維加蓋子清洗槽模擬的結果。模型網格全用非結構三角型網格切割，運用 FLUENT 套裝軟體，以 Remeshing 與 Smoothing 方式轉動，整體網格數為 92264 格。以鹽酸來代替氫氟酸模擬，濃度液面設定為 100%。圖的呈現方式為比較三種轉速轉至同一開(角)度時的性質分佈差異，故最慢的蓋子所需的時間最長，且各蓋子所需的轉動時間約為倍數關係。邊界條件：

- 進風口質量流率:0.43(kg/s)
- 抽風口質量流率:0.1722(kg/s)
- 液面氣體擴散質量流率:0.0014451(kg/s)
- 進風口速度:0.4(m/s)
- 抽風口速度:0.7(m/s)
- 板子初始轉速:0.3(rad/s)、0.6(rad/s)、0.9(rad/s)
- 液面氣體擴散濃度:996.2PPM(濃度 100%)
- 酸液種類:鹽酸
- 液面氣體擴散速度:0.00300405(m/s)

如前述，二維模擬概念是以二維平面配置，延伸至單位深度(1m)，換言之，以三維的角度而言，槽體、前擋板、上擋板皆為深度1m。故此如前述無法做出前擋板上的缺口。以下的結果因所取的抽風口高度為 20 cm，即單一抽風口面積 720 cm^2 的抽風口高度，故流場分佈不會因前擋板的形狀改變而有很大的差異，且蓋子的轉動方向本為垂直於紙面，即法方向為 X 方向，但實際二維模擬無法如此轉動，故將轉動法方向轉為 Z 方向。就以目前的技術而言，無法做出完整的

三維板子轉動，因如前述三維至少要切三百多萬網格才可模擬，網格數已經超過部分套裝軟體計算的極限。且必須建立交界面，使用 Layering 模式，但事實已證明 Layering 法只能限於線性運動，無法應用在轉動，若用 Smoothing 與 Remeshing 法模擬，則很難控制移動物運動軌跡及避免負體積的產生。

濃度部分，圖 4-33、圖 4-34、圖 4-35，可看出初始轉速最慢的例子，則在蓋子下方的濃度層最厚，這是因為轉速慢，所需轉至同一角度的時間較長，所以會累積較多的毒氣於槽中，圖 4-35，毒氣的分佈為由裡而外越來越稀，分布情形符合濃度梯度，由高濃度區往低濃度區擴散，呈層遞分佈，且在槽體內部， 0.3rad/s 蓋子的濃度分布最為均勻。圖 4-36，蓋子反轉後，部分毒氣會自軸承與槽壁的間隙溢出，蓋子轉速越快，則在轉軸處縫隙溢出的越多，尤其是蓋子反轉時，下壓的推力會將更多毒氣自轉軸處縫隙推擠出來，並且使毒氣有往上捲的趨勢。當蓋子完全閉上時， 0.3rad/s 蓋子所沉殿的範圍最廣，但濃度分佈最稀，而 0.9rad/s 蓋子則將一小部分最濃的毒氣推擠出槽體。圖 4-37，當蓋子蓋下的瞬間，蓋子轉速越快，毒氣也被擾動的越劇烈。

壓力部分，圖 4-38，當蓋子轉起約 10 度時，迎風面為正壓，背風面為負壓。蓋子轉速越快，則所對應的正壓區壓值越大，蓋子背風處深藍色負壓區域也越明顯，蓋子下方速度最快的部份亦即負壓值最大的部份。由圖 4-39 可看出，當轉至約 30 度時，迎風面的正壓區鮮紅色區消失許多，主要集中在蓋子的前端與上檔板及前擋板的右側，自上方往下吹的流體到蓋子前端會加速，因此處速度最快。圖 4-39 與圖 4-38 對照， 0.9rad/s 蓋子迎風面正壓區最為明顯。如前所述，因前擋板無法做出缺口，流體無法穿越，所以在前擋板處，可以看出一個很明顯的對比，檔板左側壓力明顯小於右側。圖 4-40， 0.9 、 0.6rad/s 蓋子前端有明顯的最大壓區。圖 4-41，當蓋子反轉時，三種轉速所呈現的壓力分佈有很明顯的差異， 0.9rad/s 的蓋子在蓋子下方有很明顯的正壓分佈，且壓值為最大的紅色區塊，而兩檔板左側壓力則幾乎不因轉速不同而有所差別，分布趨近一致。當蓋子閉合時，圖 4-42， 0.3rad/s 蓋子的槽中壓力為三轉速中最大，這是因為

0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子閉合時已將槽內高壓力的氣體先擠出，故槽中的流體反而跟槽外流體壓力趨近平衡。

速度部分，蓋子轉動時，當轉角越來越大時，蓋子最前端處的渦流越來越大。圖 4-43、圖 4-44，蓋子最前端處，有小渦流形成。圖 4-45、圖 4-46 可看出蓋子下方持續有渦流形成，其中圖 4-46 槽底已有小渦流形成。圖 4-47，當蓋子閉合時，蓋子最前端與轉軸處速度最大，並且都有迴流產生；在靠近槽底下側已堆積了一些毒氣，多數流體又因側排抽風口抽氣所以往抽風口流動，跟毒氣擾動而產生渦流，尤其是 0.9 rad/s 蓋子的槽體下方渦流很明顯，蓋子瞬間下壓的力量使更多毒氣自轉軸被推擠出槽體，擾動形成渦流。此外，因下吹流體接觸到蓋子時如同撞到牆，可以看出在蓋子上方的流線有分叉的分布。

圖 4-48 為觀察蓋子下方 0.1 mm 處在整個轉動過程中其濃度隨時間的變化，可以很明顯的看出曲線大致可分為兩段，前段為一開始至反轉階段，濃度與時間的關係呈遞增成長，但到後段濃度會突然飆高，這是蓋子即將蓋起，毒氣被加速推出，此結果可以跟圖 4-36 相對應。側排抽風口必須立即抽氣，避免毒氣擴散。圖 4-48，每一種初始速度所呈現的濃度曲線趨勢皆相同，這表示進風口、抽風口及槽面皆為穩定狀態在運作。在取探討點時，所要注意的是，不可以取在蓋子轉動會掃到的範圍內，因被蓋子掃到時，瞬間濃度為零，此結果就失去意義。圖 4-49 為三種不同的初始轉速，數據範圍取自開始轉動至 20 秒，抽風口濃度隨時間的變化。蓋子自開始轉到再度閉合，濃度大致成遞增趨勢，接著後半段濃度就呈遞減趨勢，每張圖的左下角，即開始轉動時，濃度會先稍稍呈遞減但迅速開始遞增，因蓋子剛開始轉時，蓋子對流體有一相對往回吸的力量，使得濃度降低。初始轉速 0.3 rad/s 蓋子是最後所殘留的濃度較多，因轉速最慢，毒氣可有較多的時間溢出，但當反轉至水平時， 0.6 rad/s 所溢出的濃度最大而 0.3 rad/s 最小，因 0.3 rad/s 轉動最大角度較 0.6 rad/s 與 0.9 rad/s 小，而 0.6 rad/s 與 0.9 rad/s 最大轉角角度一樣，但 0.9 rad/s 蓋子太快往回轉，故 0.6 rad/s 蓋子所溢出的濃度最大。二維的速度分佈跟三維單一截面的分佈趨勢大致相同。

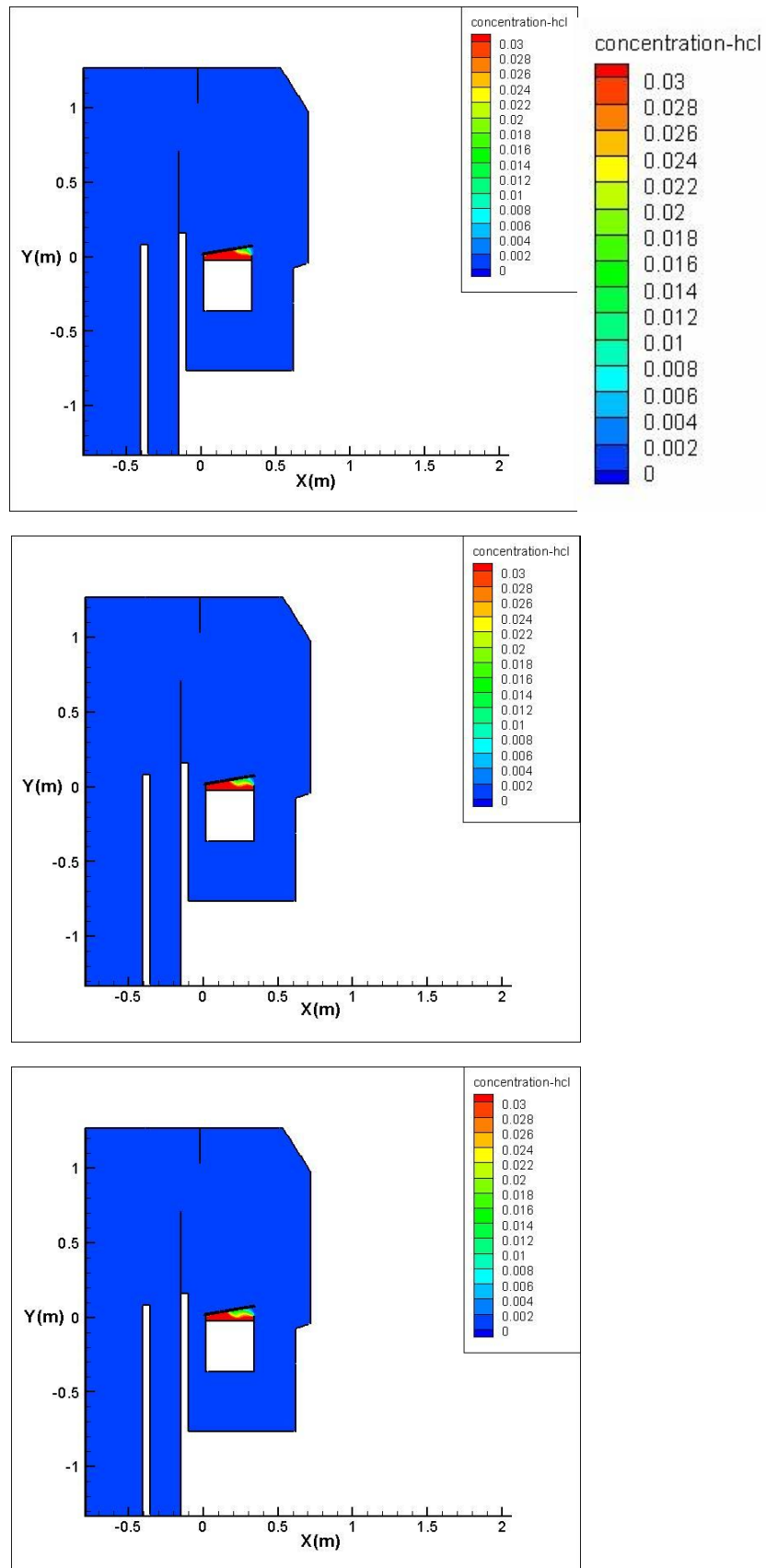


圖 4-33 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 10 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 $kmol/m^3$)

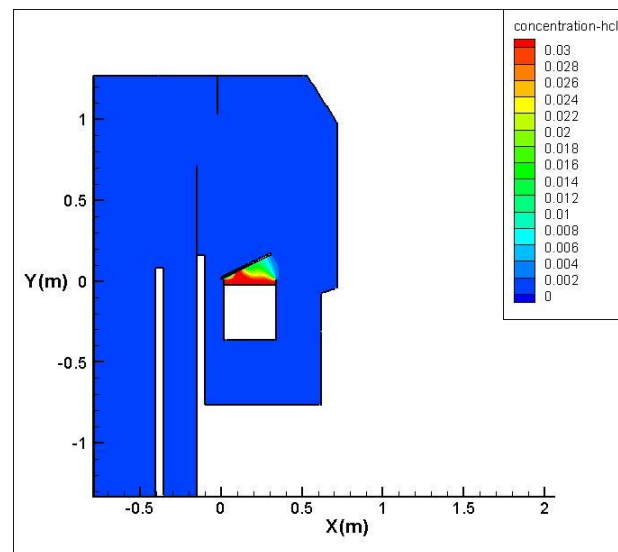
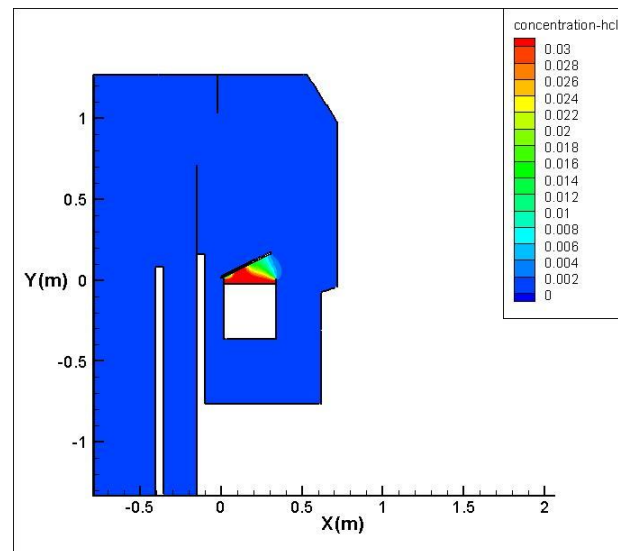
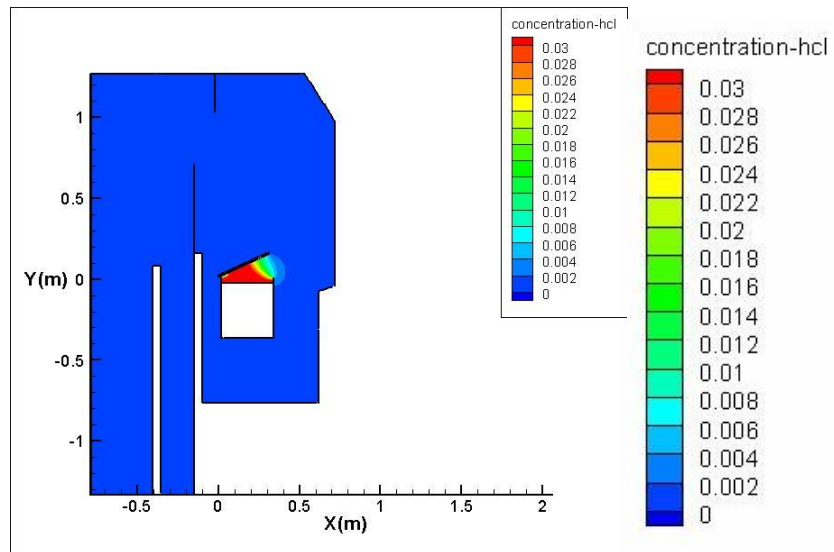


圖 4-34 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 30 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 $kmol/m^3$)

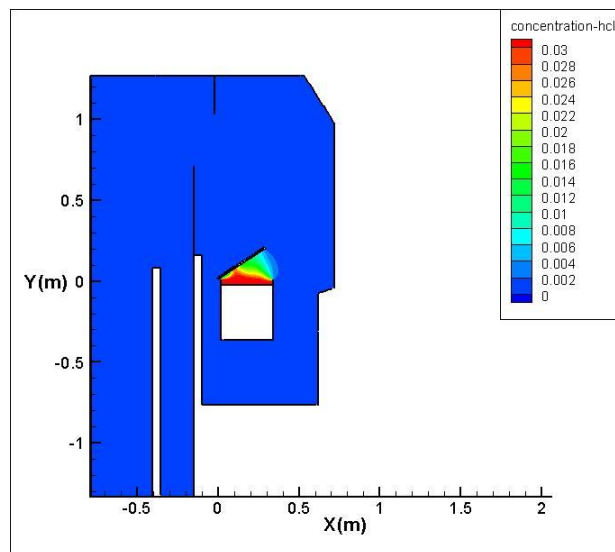
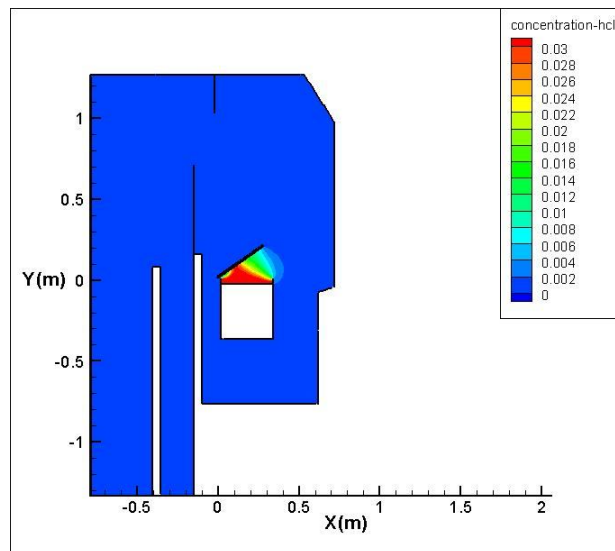
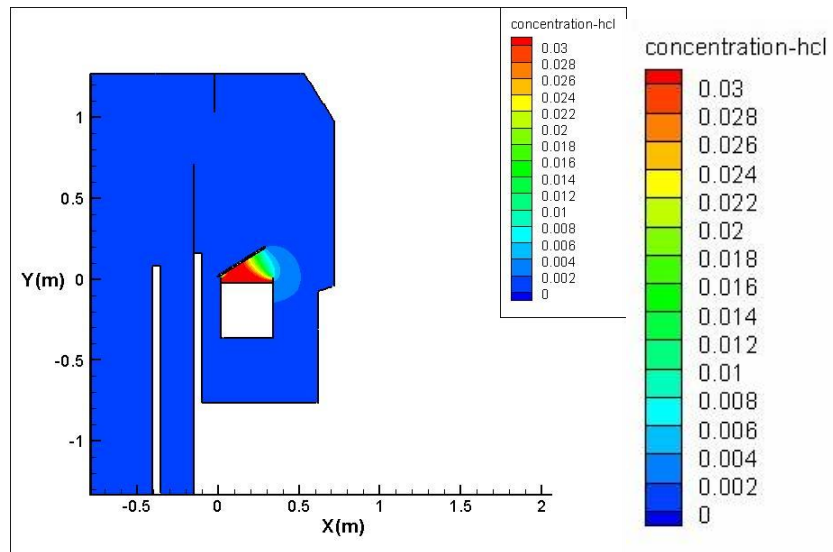


圖 4-35 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 40 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 $kmol/m^3$)

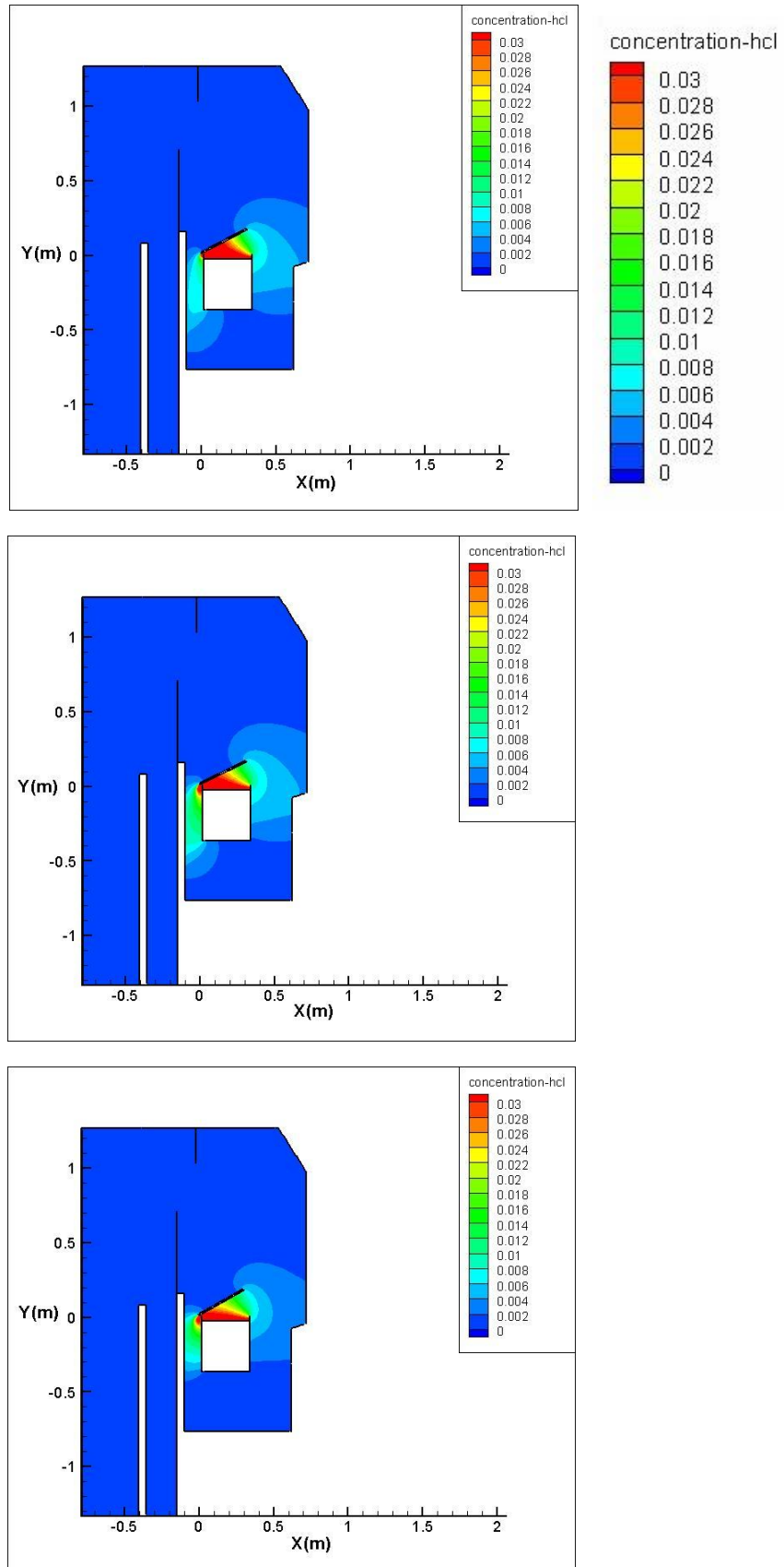


圖 4-36 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至約 30 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 $kmol/m^3$)

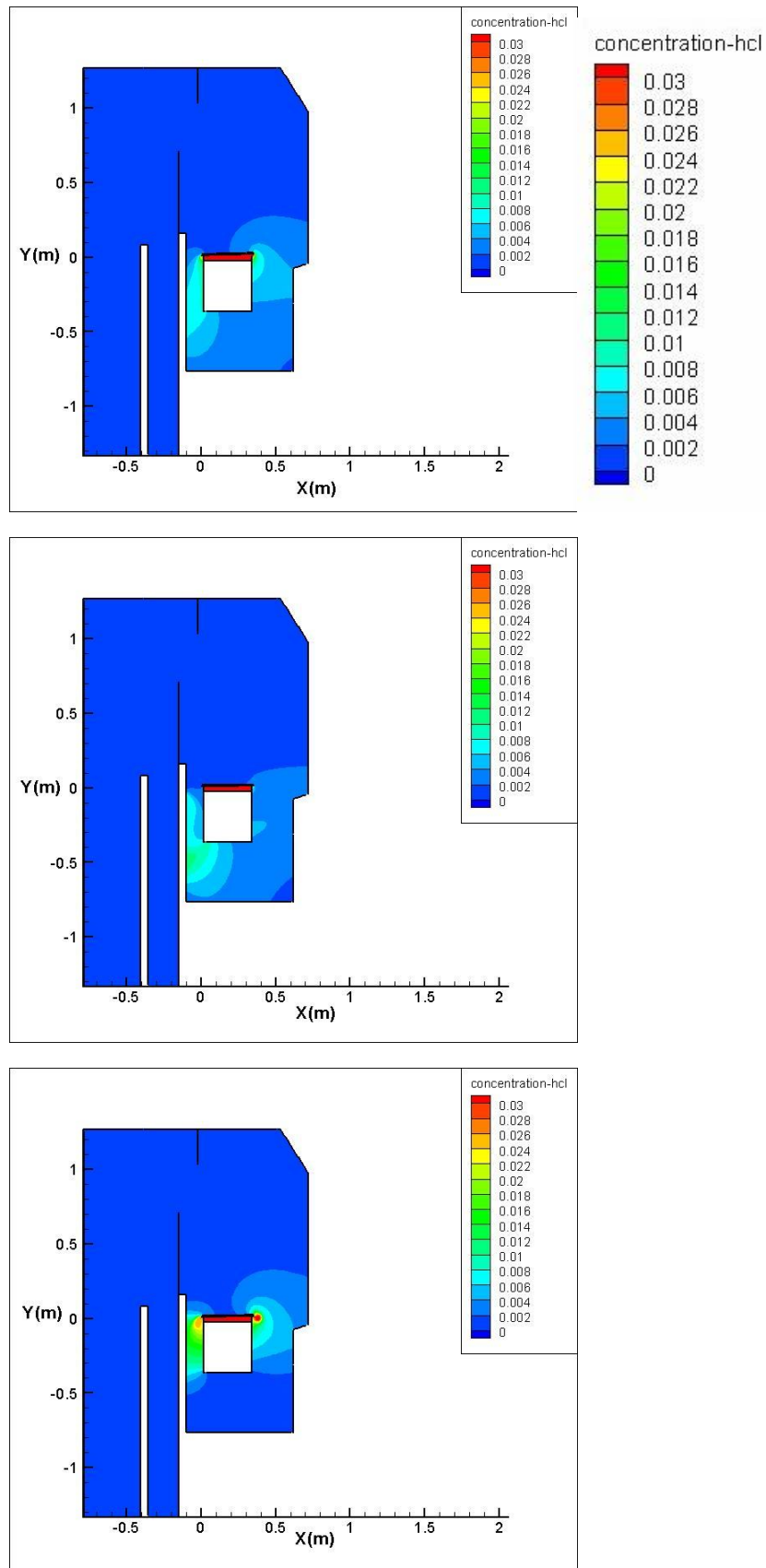


圖 4-37 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時濃度分佈圖

(由上至下 單位 kmol/m^3)

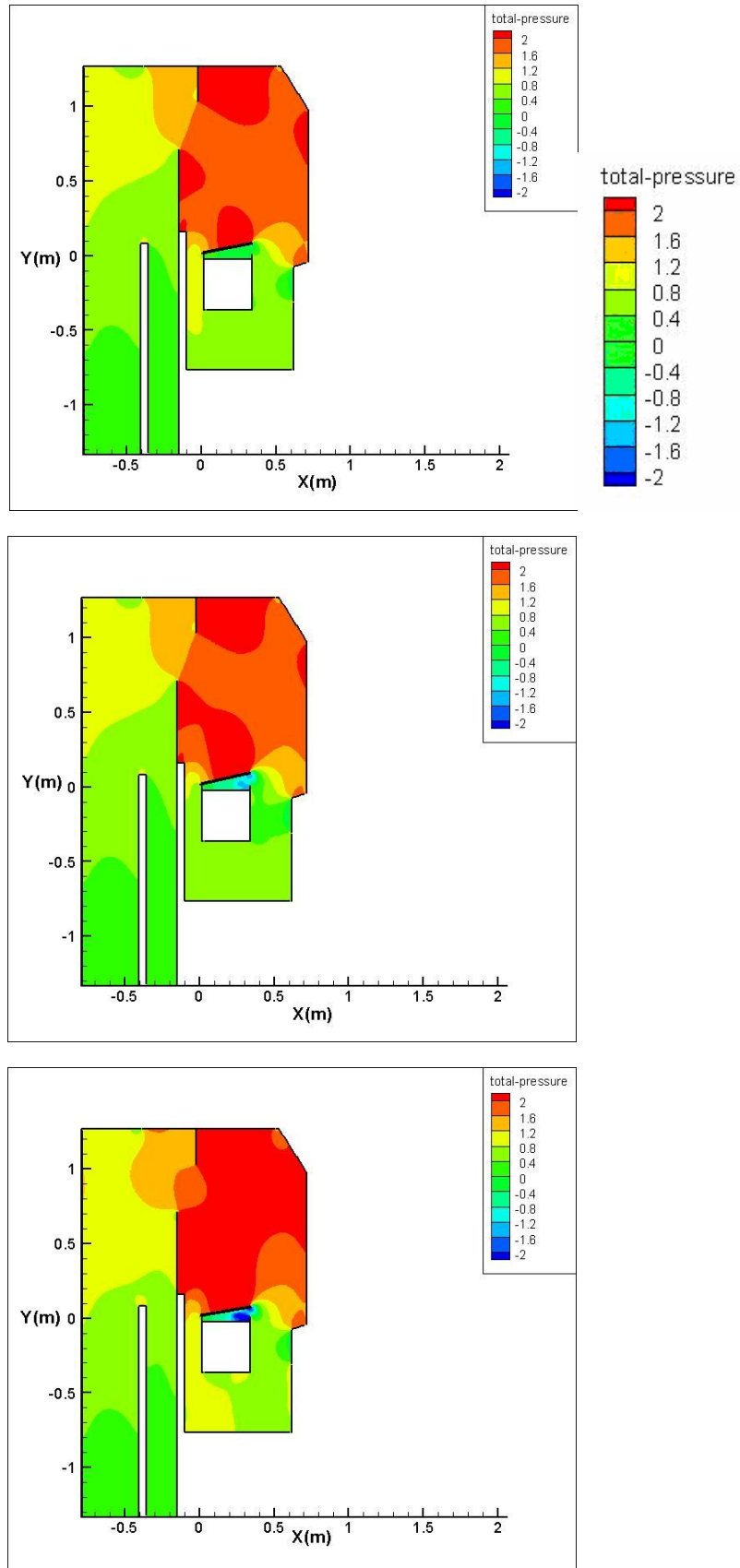


圖 4-38 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角約 10° 壓力分佈圖
(由上至下 單位 Pa)

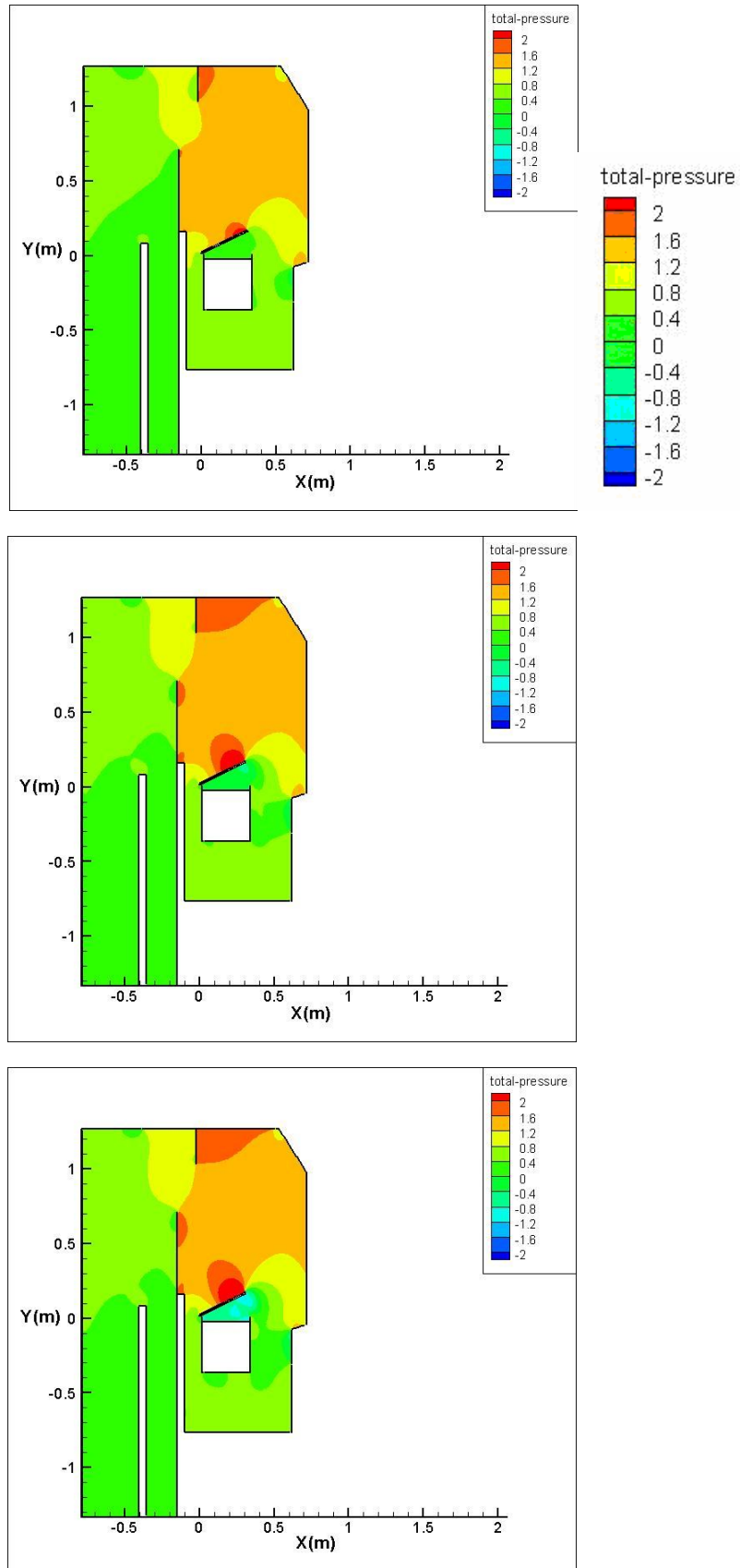


圖 4-39 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 30 度壓力分佈圖
(由上至下 單位 Pa)

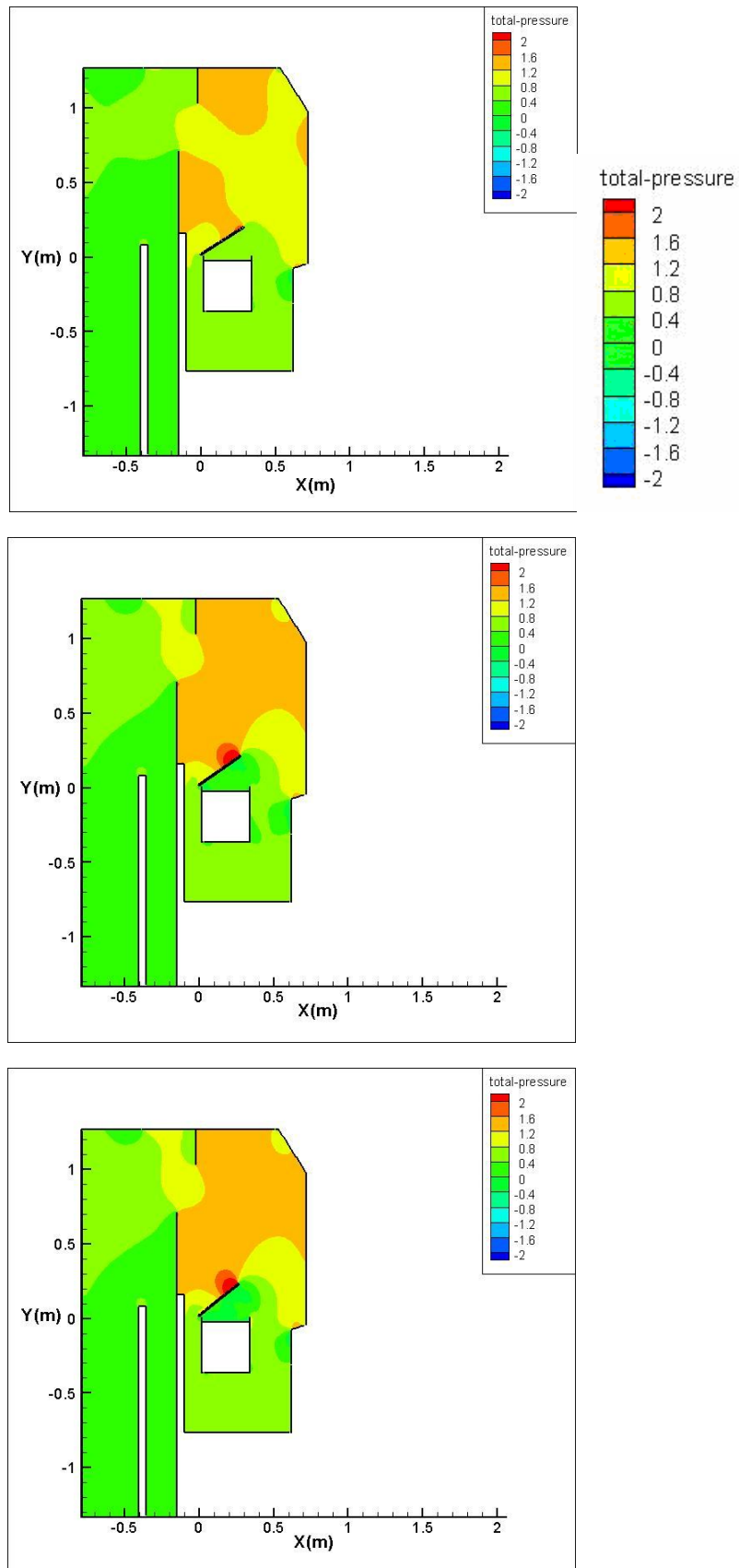


圖 4-40 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 40 度壓力分佈圖
(由上至下 單位 Pa)

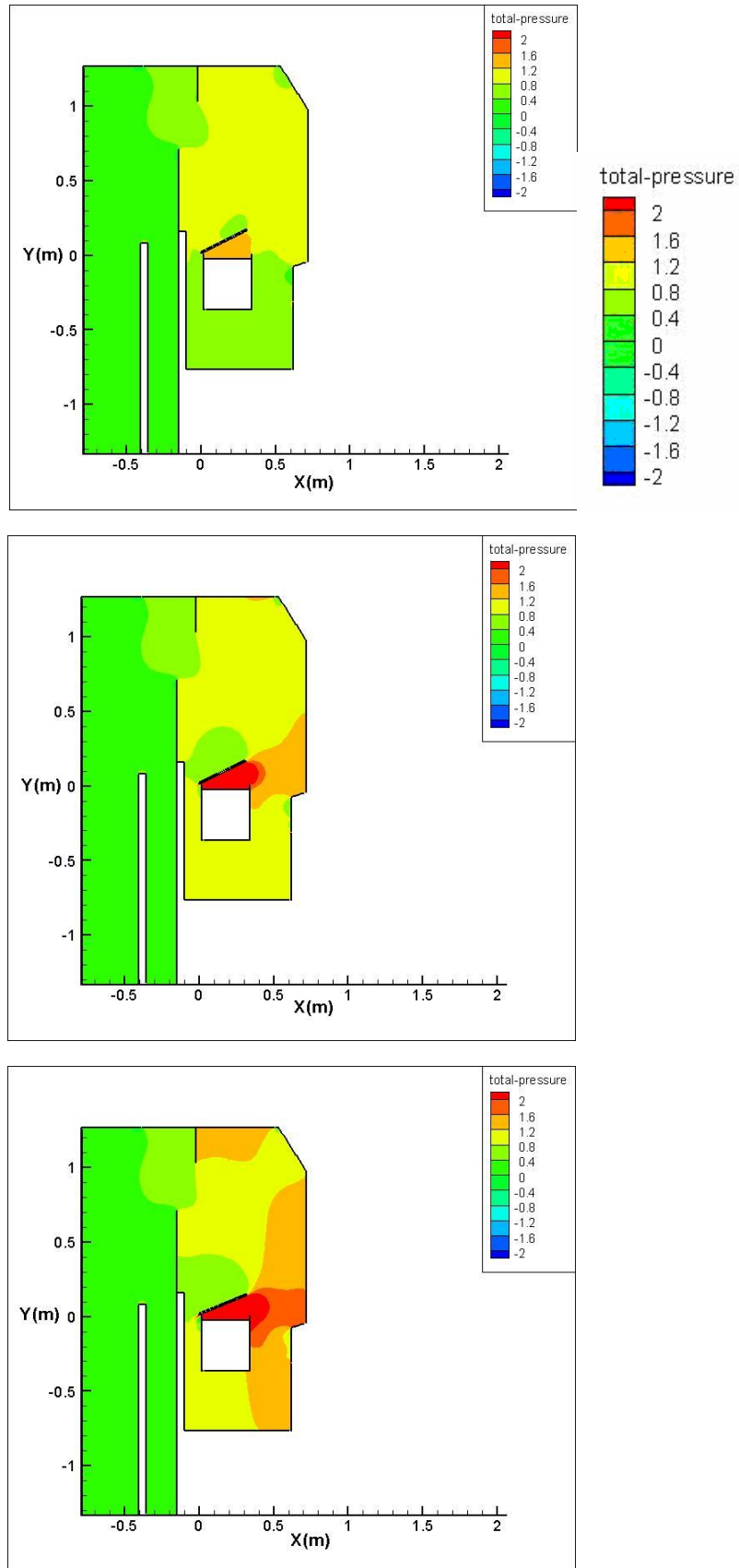


圖 4-41 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至約 30 度壓力分佈圖
(由上至下 單位 Pa)

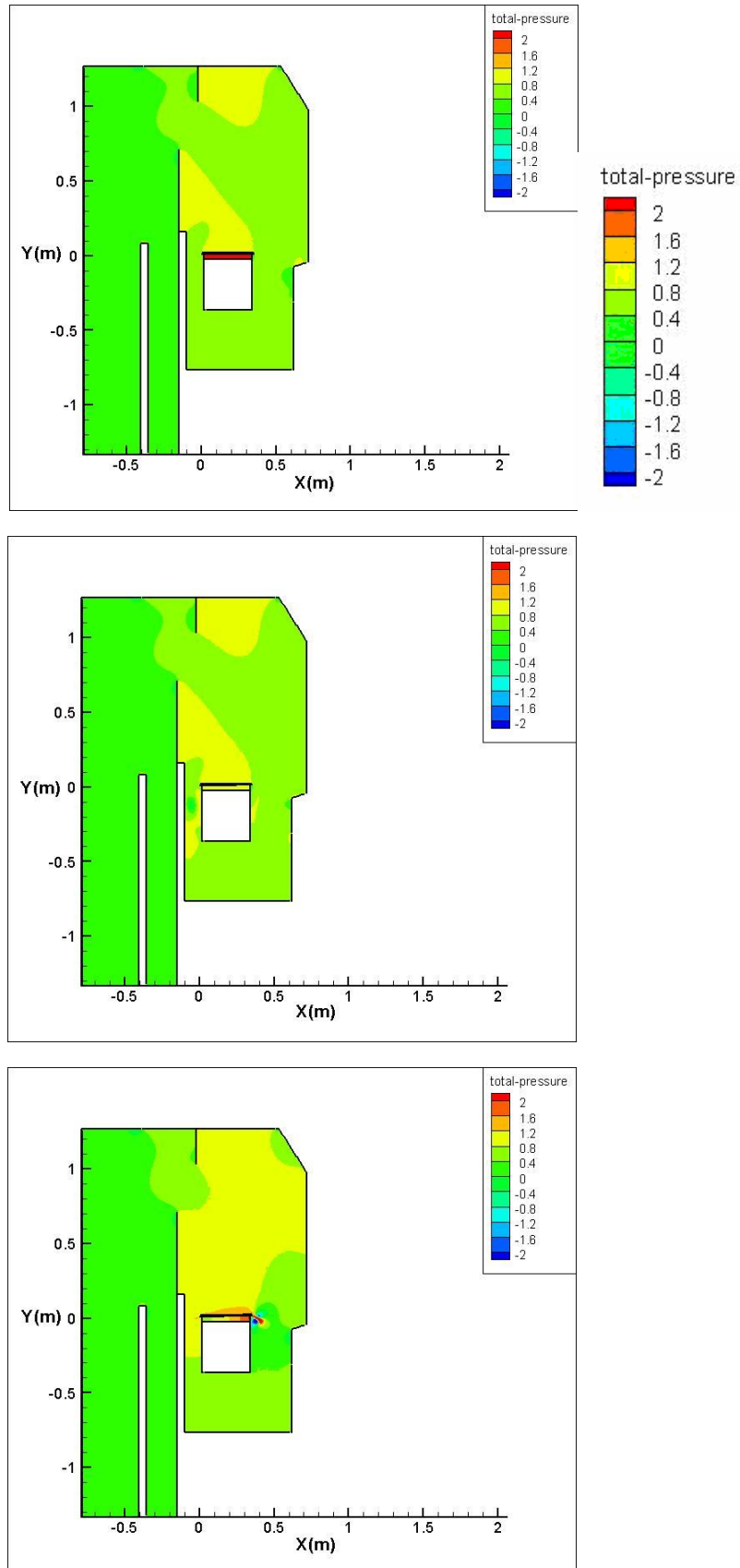


圖 4-42 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時壓力分佈圖

(由上至下 單位 Pa)

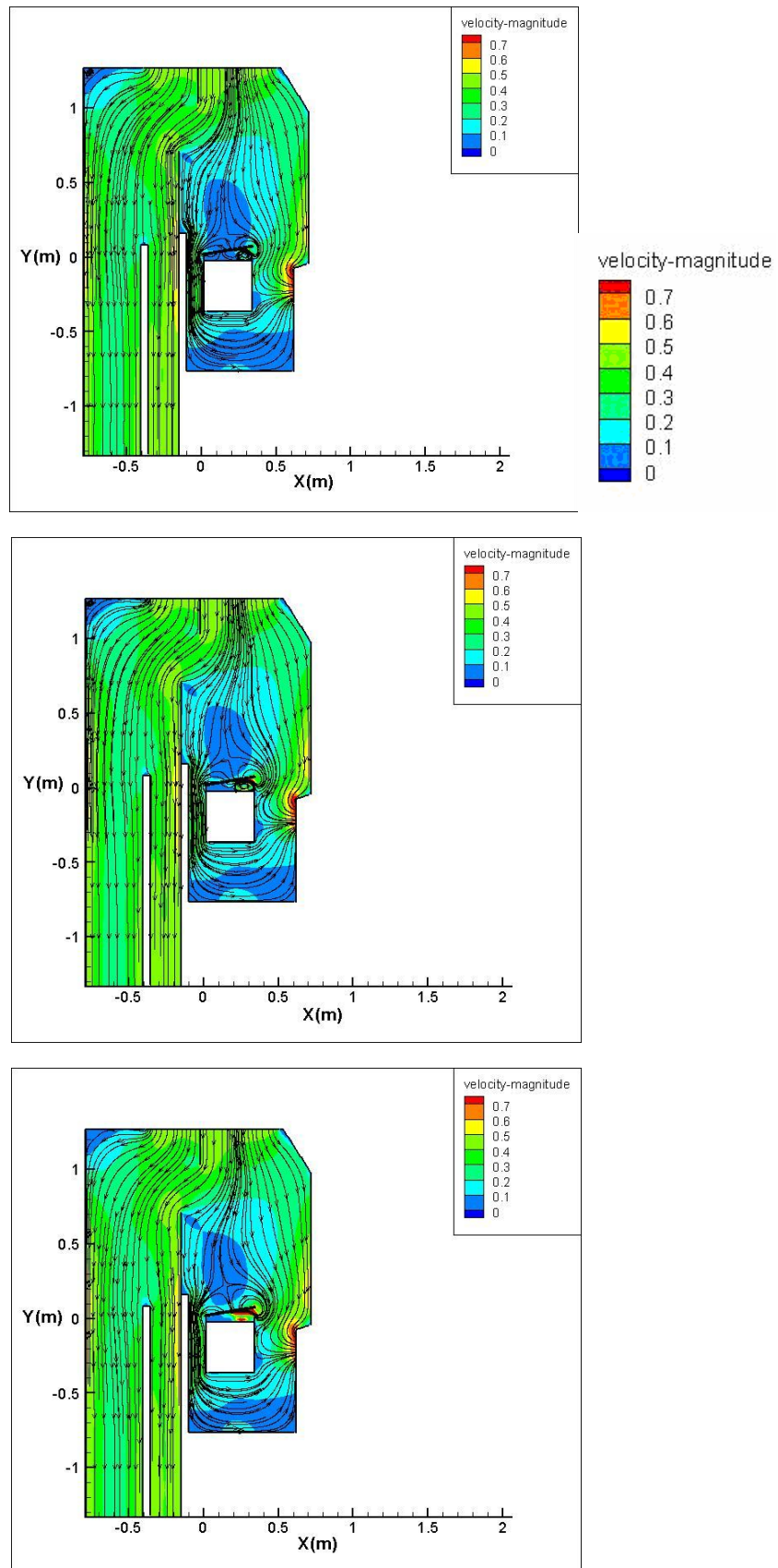


圖 4-43 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 10 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

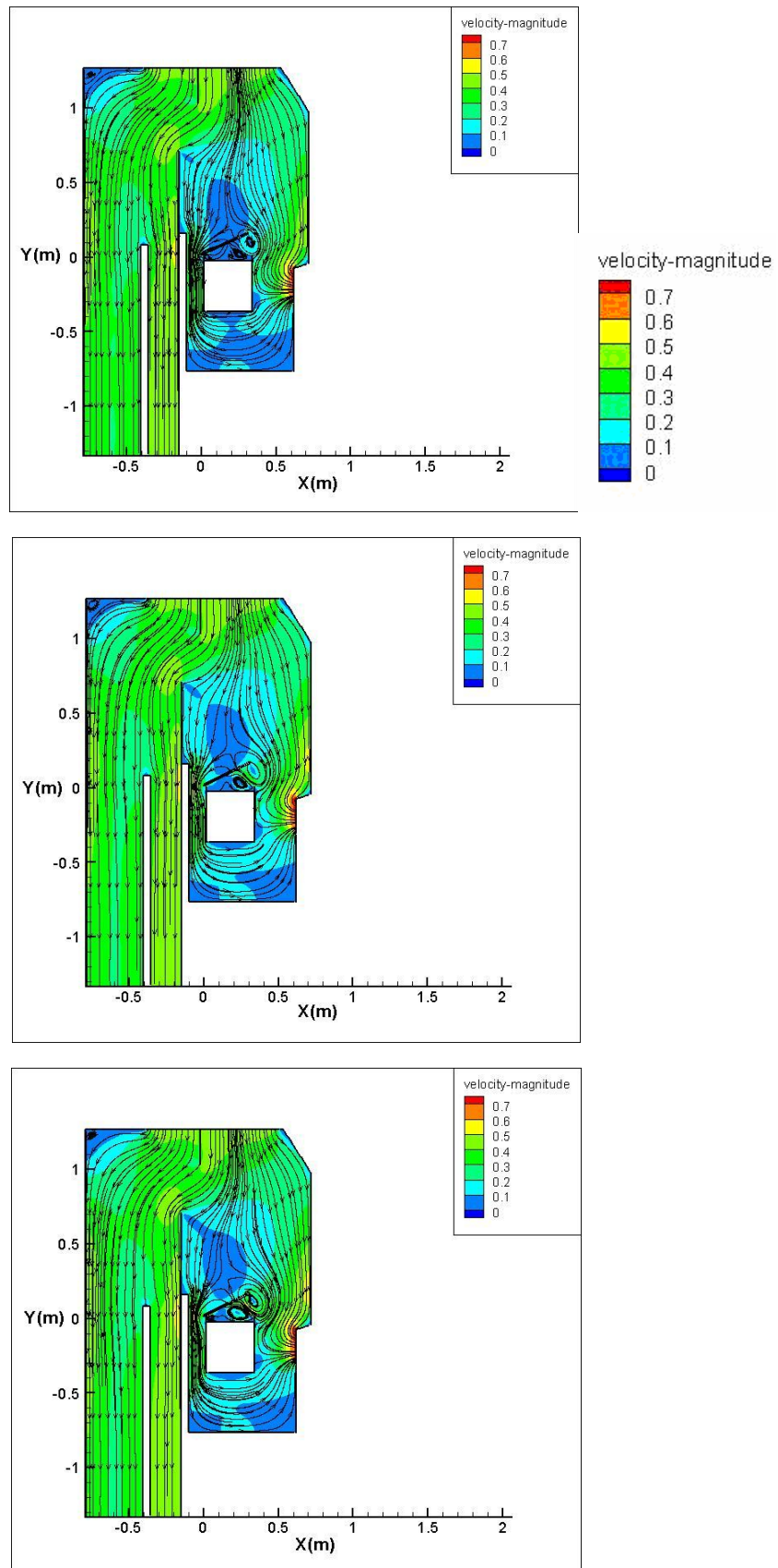


圖 4-44 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 30 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

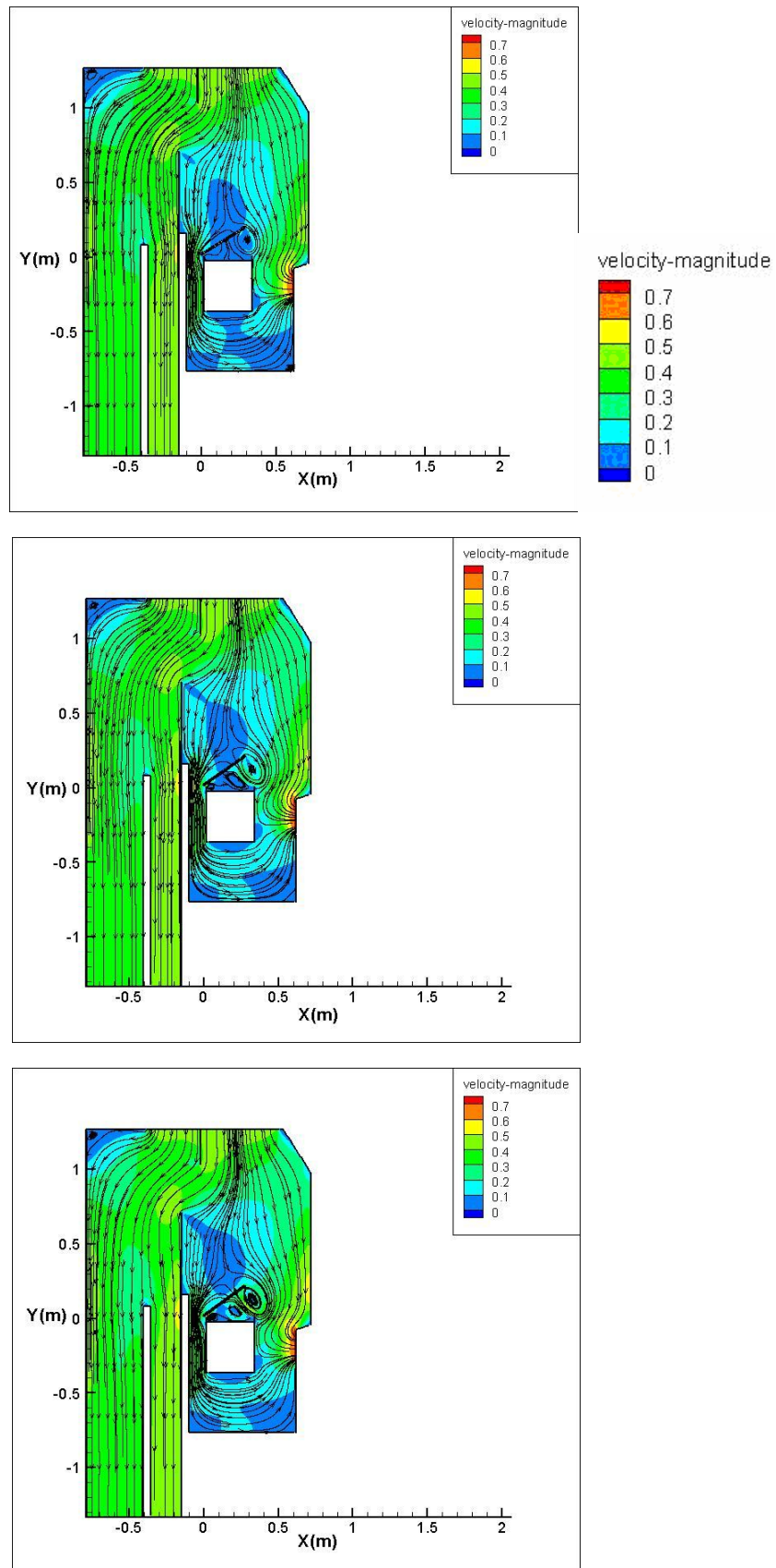


圖 4-45 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角約 40 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

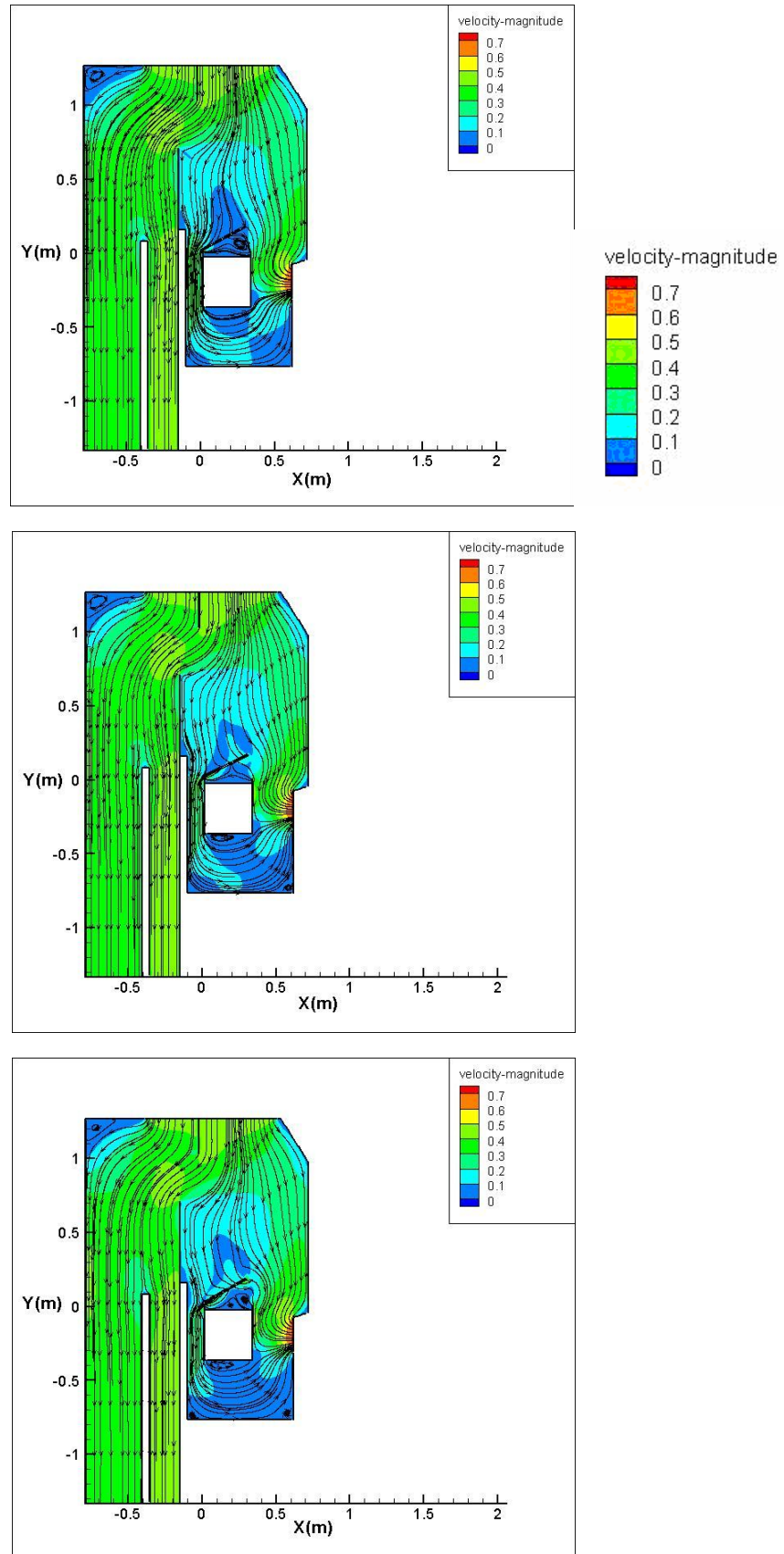


圖 4-46 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至約 30 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

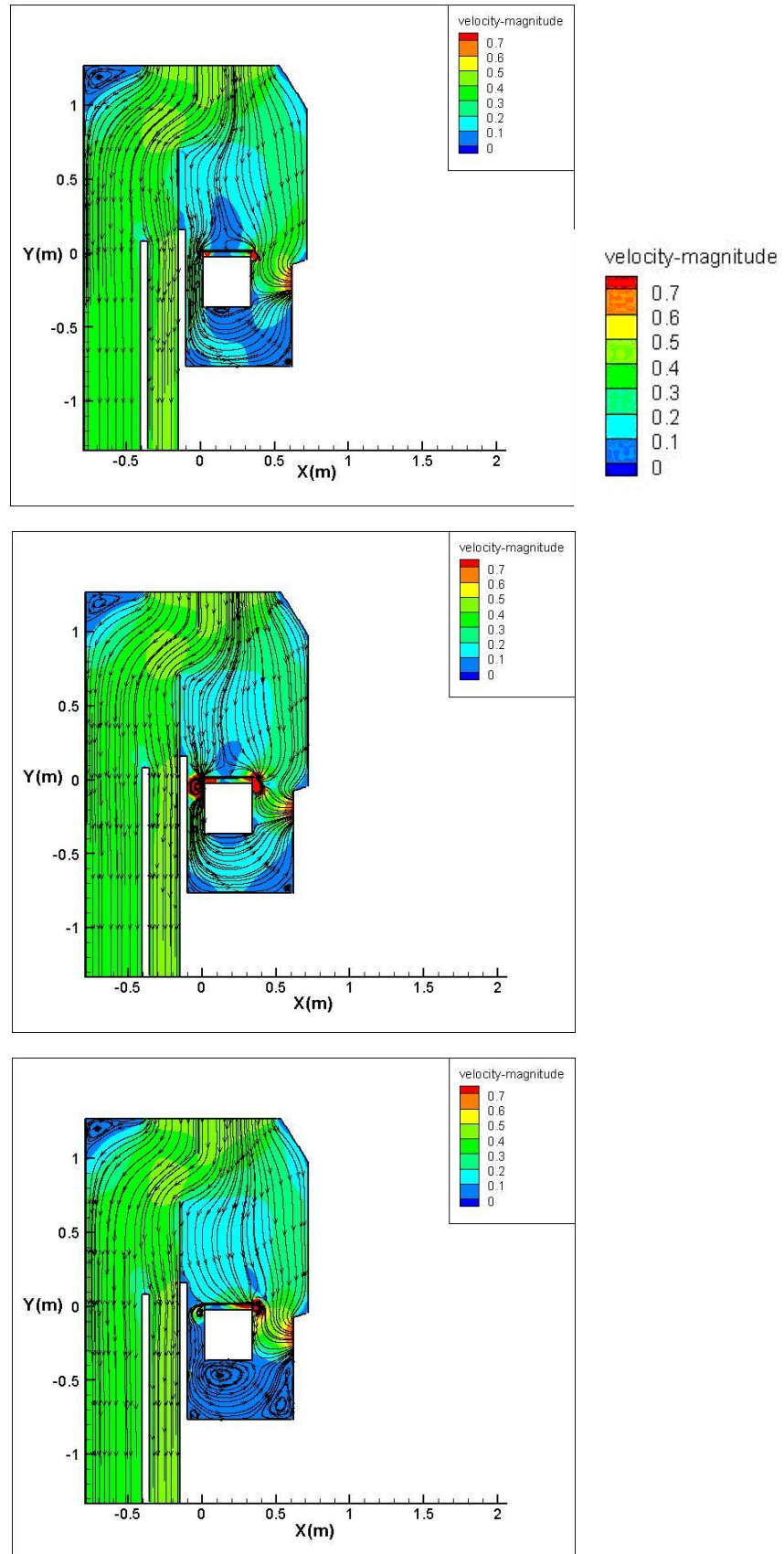


圖 4-47 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

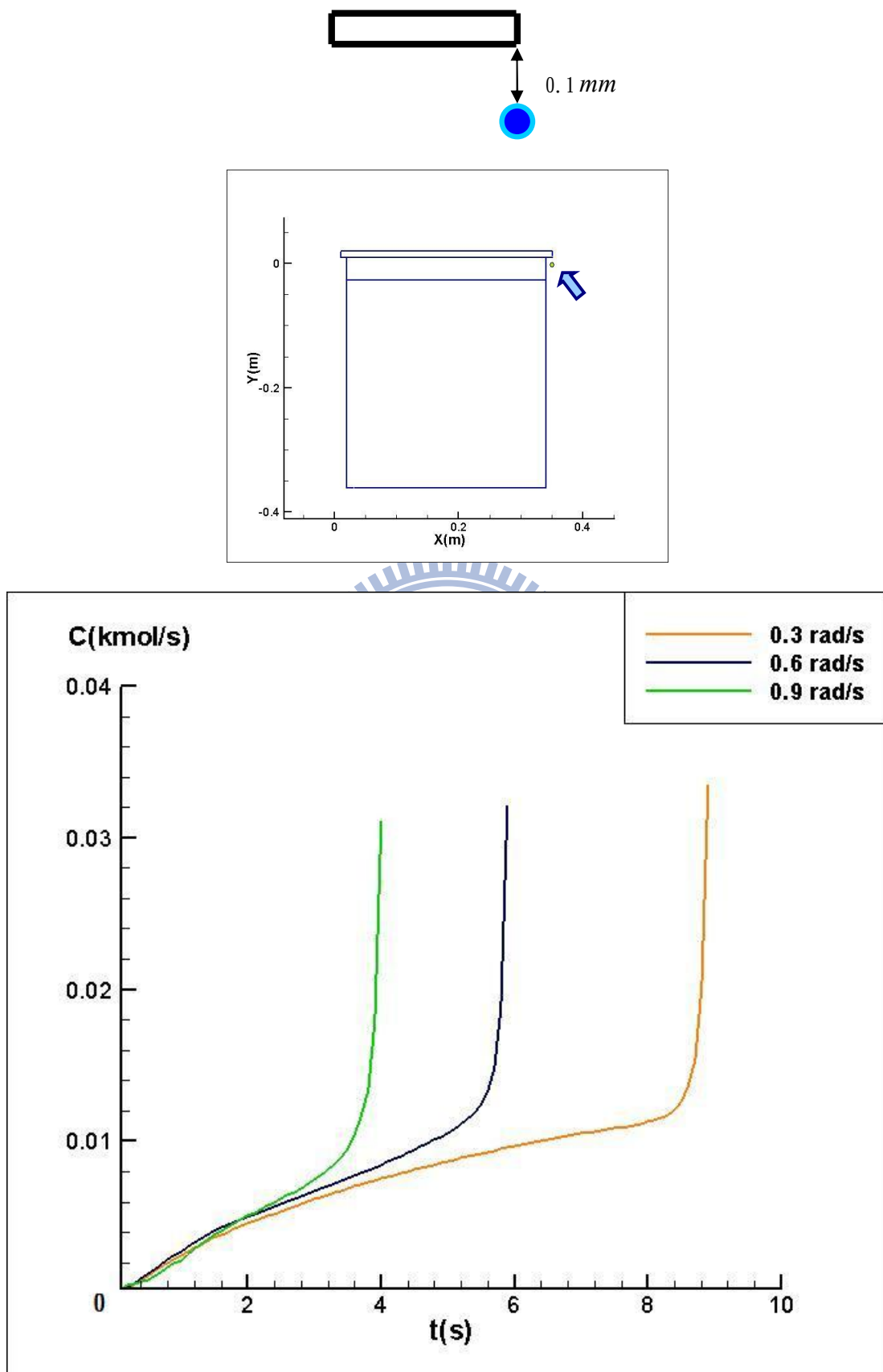


圖 4-48 蓋子下緣下方 0.1 mm 處轉動過程濃度變化-時間三轉速比較圖

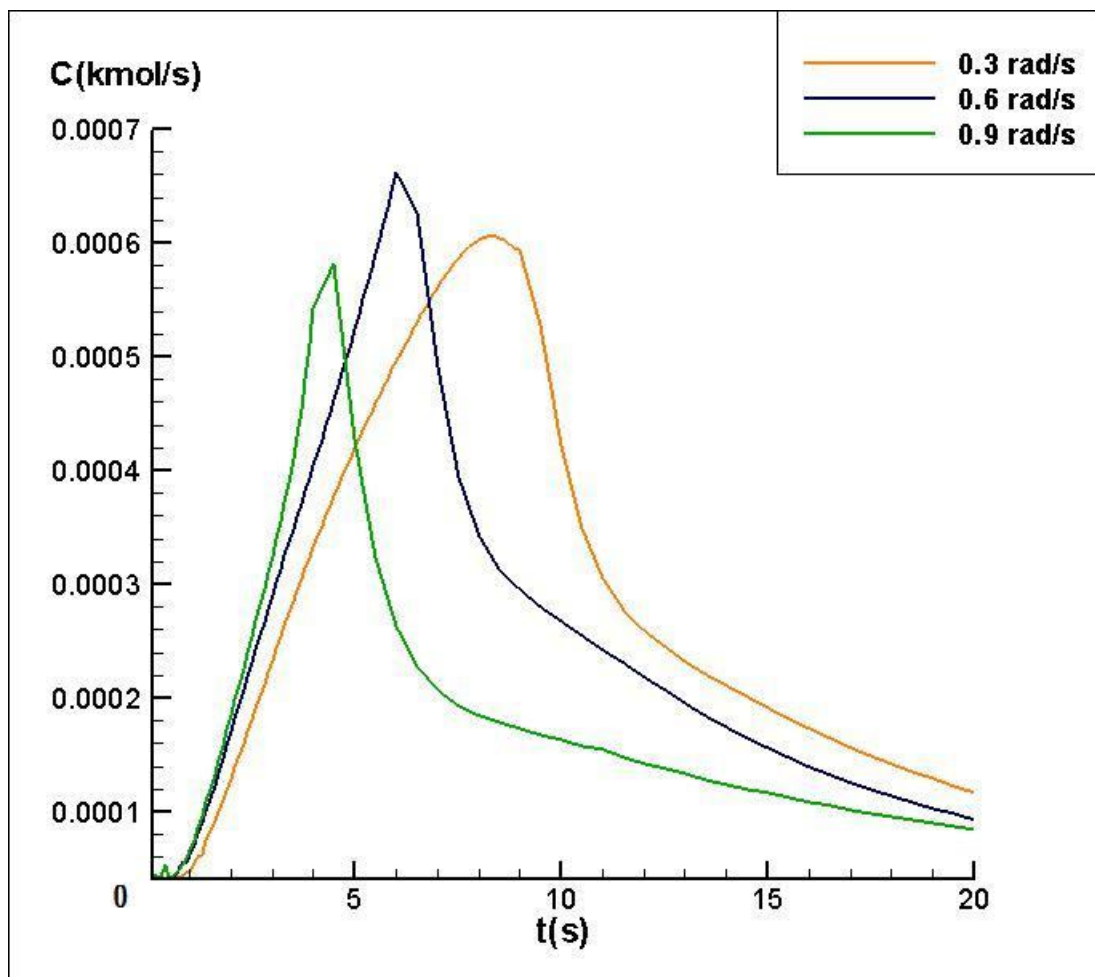


圖 4-49 蓋子自轉動至 20 秒抽風口濃度-時間三轉速比較圖

表 4-1 清洗台運作流程

| | Step 1: 蓋子轉開 至最大角 度 | Step 2: 蓋子轉至 最大角度 後停止，等 毒氣自然 擴散 12 秒 | Step 3: 進風口吹氣 與抽風口抽 氣至穩定 | Step 4: 維持 Step 3 的狀態，蓋 子開始反轉 | Step 5: 蓋子完全 閉合後，持 續吹氣與 抽氣，至殘 餘的毒氣 消失 |
|------------|------------------------------|---|-----------------------------------|--|---|
| $0.3rad/s$ | 0~4.8s | 4.8~16.8s | 16.8~54s | 54~58.8s | 58.8~86s |
| $0.6rad/s$ | 0~2.4s | 2.4~14.4s | 14.4~52.5s | 52.5~58.9s | 58.9~80s |
| $0.9rad/s$ | 0~1.6s | 1.6~13.6s | 13.6~50.5s | 50.5~52.1s | 52.1~78s |

實際機台運作情形中，進風口與抽風口一開始都處靜止狀態，等蓋子轉至大角度後停止 12 秒，才開始運作，等到系統中毒氣擴散分佈成穩定後，亦即毒氣向槽底沉積時，蓋子反轉至水平於槽面，將剩餘的毒氣排光後停止運作。表 4-1 為各轉速下每一階段的時間間隔。表 4-2 為三轉速蓋子同轉至 51.6 度時，各轉速蓋子的受力情形，可以明顯看出轉速最快，受力越大；轉速越慢，受力越小。表 4-3 為三轉速蓋子同反轉至 51.6 度時，各轉速蓋子的受力情形，同樣的，轉速最快，受力越大；轉速越慢，受力越小。

其中，在停止 12 秒的時間中，因毒氣是自然擴散，故毒氣會越過前擋牆，所以工作人員此時必須小心。進風口向下吹氣後，部分毒氣會直接吹出出風口，其餘的毒氣會被逐漸吹往槽底，此時變化過程緩慢。抽風口濃度的變化趨勢如圖 4-50。所有的邊界條件與前述相同。

同樣以三種轉速做探討，得到將毒氣完全抽光的時間，三種轉速分別為 86 秒、80 秒及 78 秒。由圖 4-50 可看出三轉速蓋子自開始到轉至最大角度停止 12 秒，出風口濃度呈持續增加，當抽風口與進風口開始運作時，濃度開始遞減，到蓋子閉合的瞬間會再度升高，因蓋子閉合將槽內的毒氣推擠出來，但濃度隨即再遞減， 0.3rad/s 曲線呈持續遞減，但 0.6rad/s 、 0.9rad/s 曲線會再次升高，如圖 4-51，因在蓋子反轉時，較多的高濃度毒氣自轉軸處溢出，累積在槽底，接著被抽風口帶出，故濃度會再度增加。至毒氣都被抽光後，進風口與抽風口再度靜止。至下一批晶圓清洗時，重複同樣的過程，循環運作。由曲線結果得知， 0.3rad/s 蓋子所造成的抽風口濃度變化較穩定，但所需的運作時間較久。但因 0.3rad/s 蓋子所造成的抽風口濃度曲線趨勢較穩定，故為最佳轉速。

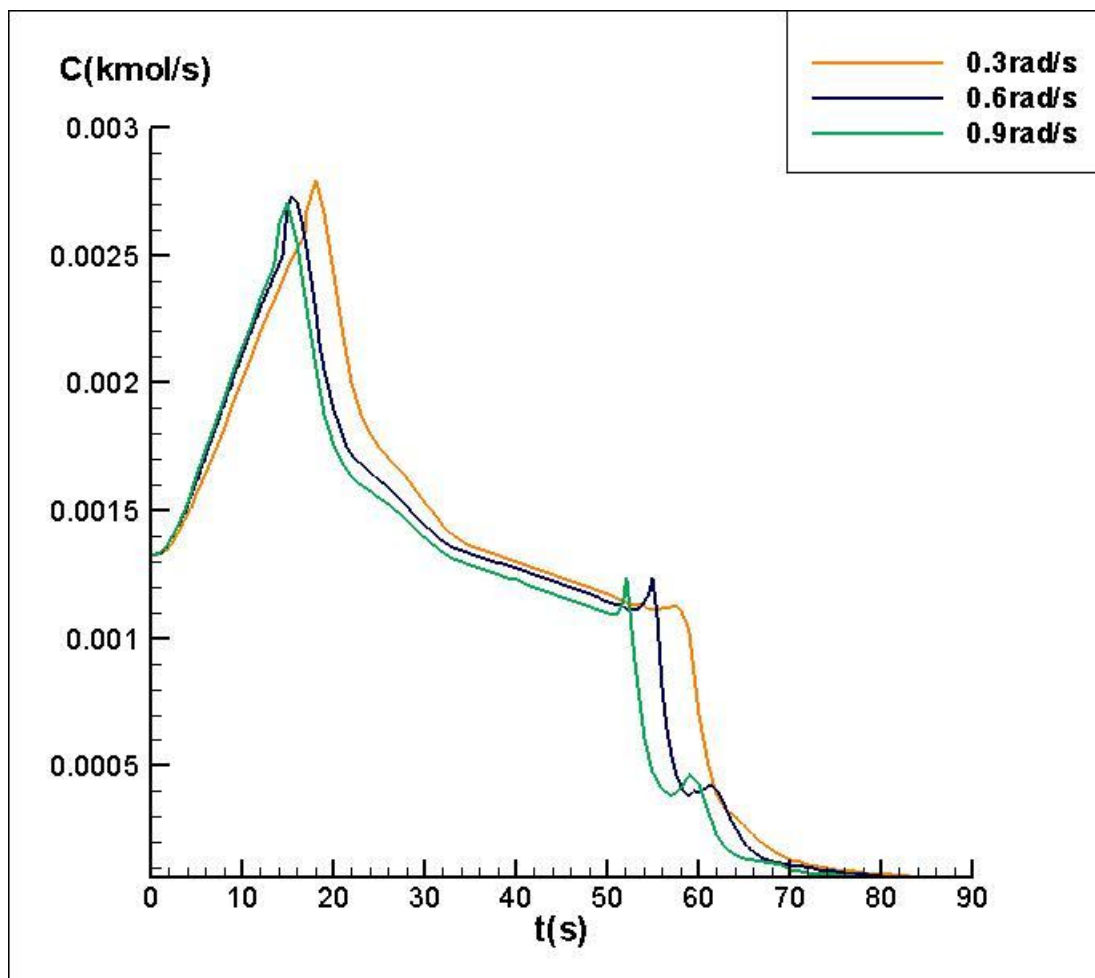
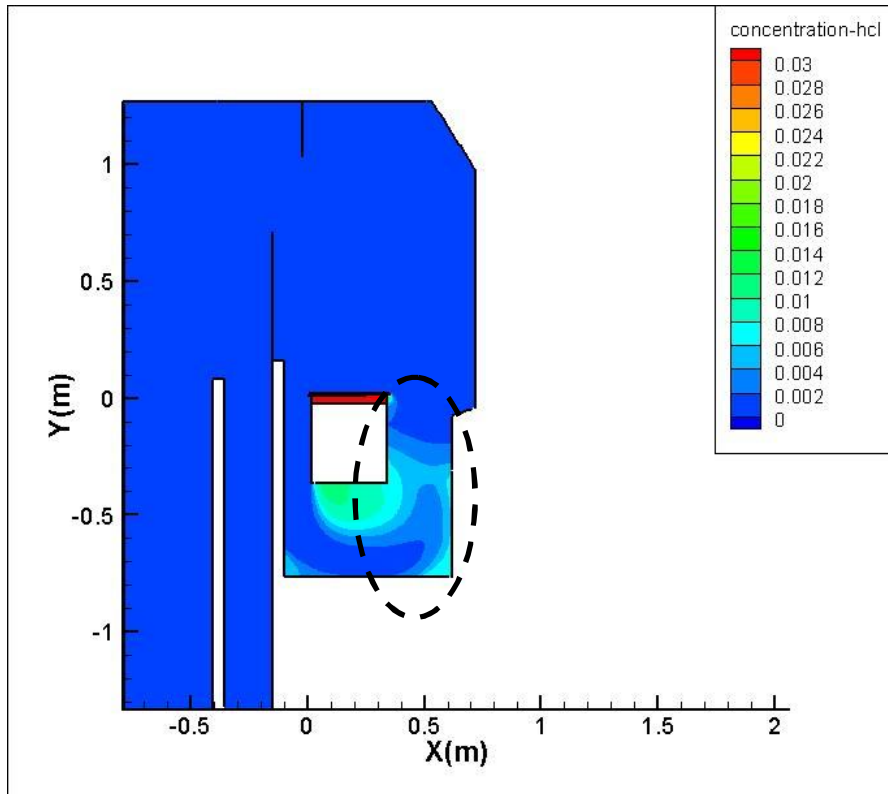
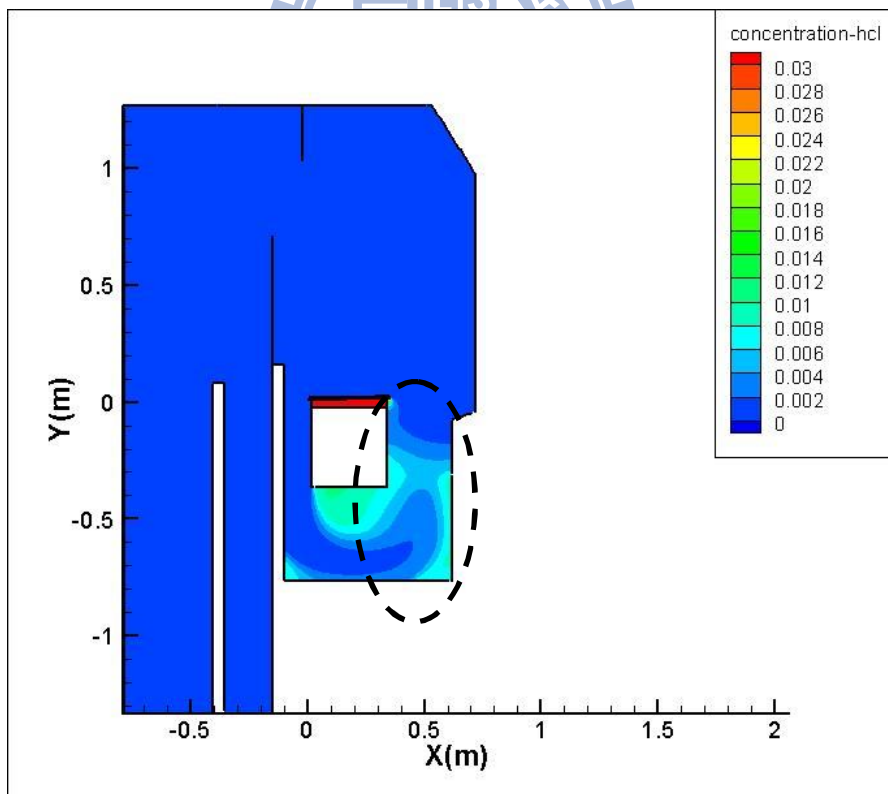


圖 4-50 全過程抽風口濃度率-時間三轉速比較圖



蓋子轉速 0.6 rad/s




蓋子轉速 0.9 rad/s

圖 4-51 轉速 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 後段抽風口濃度再次升高之濃度分佈比較圖

濃度部分，圖 4-52，可以看出當蓋子轉至 25.8 度時， 0.3rad/s 蓋子所擴散出的毒氣範圍最大，轉速最慢，毒氣有較多的時間擴散，由圖 4-53，轉至 51.6 度時，分佈更為明顯。圖 4-54，當蓋子轉至最大角度 82.5 度時， 0.3rad/s 蓋子所擴散出的濃度範圍仍為最大，毒氣已越過上擋板與前擋板。蓋子定住 12 秒是為了使機械手臂有足夠的時間將晶圓置入槽中再提起。圖 4-55，可知上擋板在毒氣自然擴散 12 秒後已近乎無作用，因大多數的毒氣自其下緣繞過。圖 4-56，當系統進風與抽風至穩定時，三張圖濃度分布趨近一致。圖 4-57，當蓋子反轉至 51.6 度，蓋子前端會擾動毒氣使之反捲，且有毒氣自轉軸縫隙溢出，蓋子轉速越快，溢出的毒氣越多。蓋子閉合時，高濃度的毒氣被推出槽體，抽風口持續抽氣直至抽光。當毒氣全抽光時，除了蓋子前端有很小一塊淡藍色的低濃度區域，其毒氣全分佈在槽中，已達到預期的目標。圖 4-58 與圖 4-59，反轉時，轉速越快，蓋子前端毒氣反捲區域越大。圖 4-60，毒氣抽光後，三圖濃度分布趨近一致。壓力部分，轉速越快，蓋子受力越大，如圖 4-61， 0.9rad/s 蓋子的迎風面與背風面間的壓差最大，於蓋子前端有高壓力分佈區，呈半球狀分布。圖 4-62，當蓋子轉至 51.6 度時，蓋子的迎風面與背風面間的壓差更為明顯，除了蓋子前端與轉軸處會有渦流，蓋子下方至槽面間的區域亦出現渦流。圖 4-63，當轉至最大角度時，前擋板處如同一牆壁，擋版左右側的壓差也因蓋子轉速越快而越明顯，如 0.9rad/s 蓋子背風處的負壓區呈階層分布，而在擋板左側、蓋子與擋板右側間會形成小渦流。圖 4-64，當擋板開至最大角度停止 12 秒後，毒氣擴散至整個系統內部。系統內部壓力趨近平衡，壓力趨近於定值。圖 4-65，當進風口與抽風口開始運作至穩定，於前擋板左側區域至出風口的毒氣已趨近全排出，前擋板右側區域的毒氣大部分已沉積到槽底下方的區域，壓力分佈被兩板分成左右兩部分，擋板右方壓力大於左方壓力，上擋板與前擋板間為過渡區域。圖 4-66 與圖 4-67， 0.6rad/s 、 0.9rad/s 蓋子下方已經明顯出現正壓區，當蓋子反轉至 25.8 度，可看出 0.9rad/s 蓋子前端已經出現明顯的高壓力區，可以看出毒氣已明顯被推擠出來。圖 4-68 當蓋子閉合時， 0.9rad/s 蓋子所推擠出的高壓

力流體最多，此時 0.3 rad/s 蓋子槽底下方為分佈最廣的高壓力區，因蓋子以較緩慢的速度蓋下，使蓋子周圍的流體被帶動至槽底；反觀 0.9 rad/s 蓋子因轉速最快，故下壓的力量使槽內的毒氣向抽風口方向衝出。圖 4-69，最終壓力分佈大至被擋板分成兩半， 0.9 rad/s 蓋子槽內與槽外壓力趨近平衡。速度部分，圖 4-70~圖 4-73，蓋子轉動時，於蓋子的前端與轉軸處會各自形成渦流。蓋子轉速越快，所形成的渦流越大，蓋子逐漸開至最大角度的過程中，於蓋子下方與前擋板左側分別有小渦流的形成，蓋子定住 12 秒後，於前擋板左側與蓋子前端有明顯之大渦流，而前擋板左側的渦流範圍會隨著蓋子轉速越大而越大。圖 4-74 在接近前擋板左上方處流體有被加速。在槽底下方與系統左上角的區域有明顯渦流產生。圖 4-75~圖 4-78，槽底下方有明顯渦流產生。

綜合上述，得二結論。(1)進風口與抽風口若能持續運作，則不需顧慮毒氣自然擴散越過前擋板的問題。但實際的清洗過程中，此種方式非常消耗成本與能源。也因毒氣越過前擋板，故國外的一些機台設計是全封閉式，蓋子在封閉的空間中轉動，縱使毒氣擴散，也不會擴及工作人員。本模擬是將結果預設到最極端的情形，因在實際情形中，槽面不可能有源源不斷的定量毒氣溢出，實際毒氣的擴散會隨時間增長而遞減，故以此模擬的邊界條件設定，應用在實際相同尺寸的機台(不考慮機械手臂的二段式平移移動)，可以將毒氣抽出。但所必須注意的是，軸承跟槽壁間有空隙，蓋子縱使沒打開，也會有微量的毒氣溢出。而當蓋子轉動時，會加速毒氣的溢散。其中，若在兩槽間的機台底部設置下排抽風口，可更有效抑制毒氣擴散。(2)在未來可嘗試利用槽面氣簾阻止毒氣擴散。將前擋板依其缺口的間距在頂部接合一片片水平擋板，亦即組合成自側面看呈[]形狀的擋板，使擋板與槽面間形成氣簾，可有效擋住毒氣上捲，讓毒氣捲在氣簾中，抑制擴散。一般而言，槽面的氣簾形成，是在槽面上方直接加裝抽風口，以同向吹吸式氣罩的概念形成。其中，氣簾的應用必須控制得宜，因其概念為利用槽面形成渦流而使毒氣捲進其中，若渦流範圍太大，甚至逼近工作人員的身高，對其的安全是很大的危害，反弄巧成拙。抽風口速度若太小，無法形成氣簾。[13]

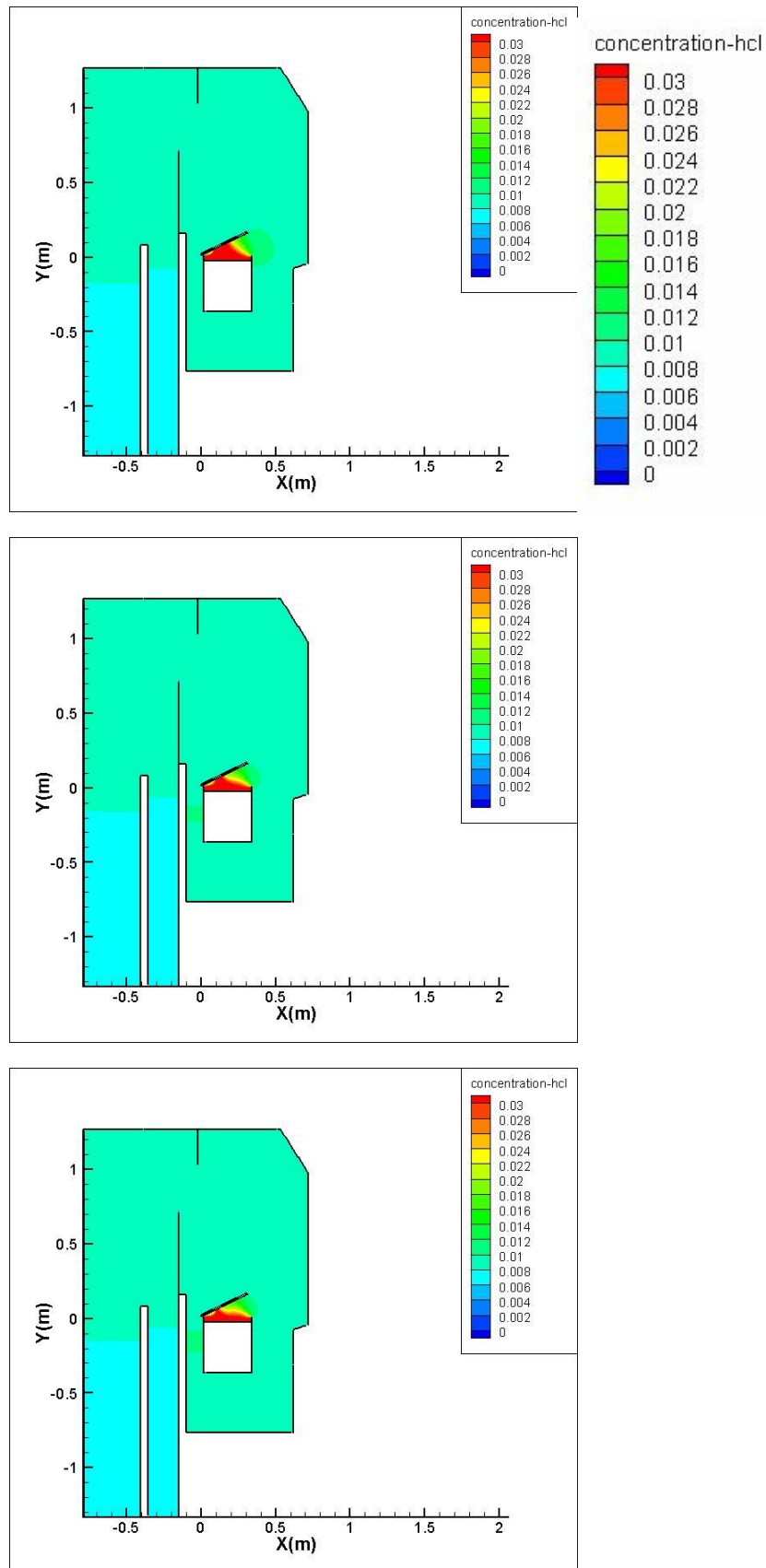


圖 4-52 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 25.8 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 kmol/m^3)

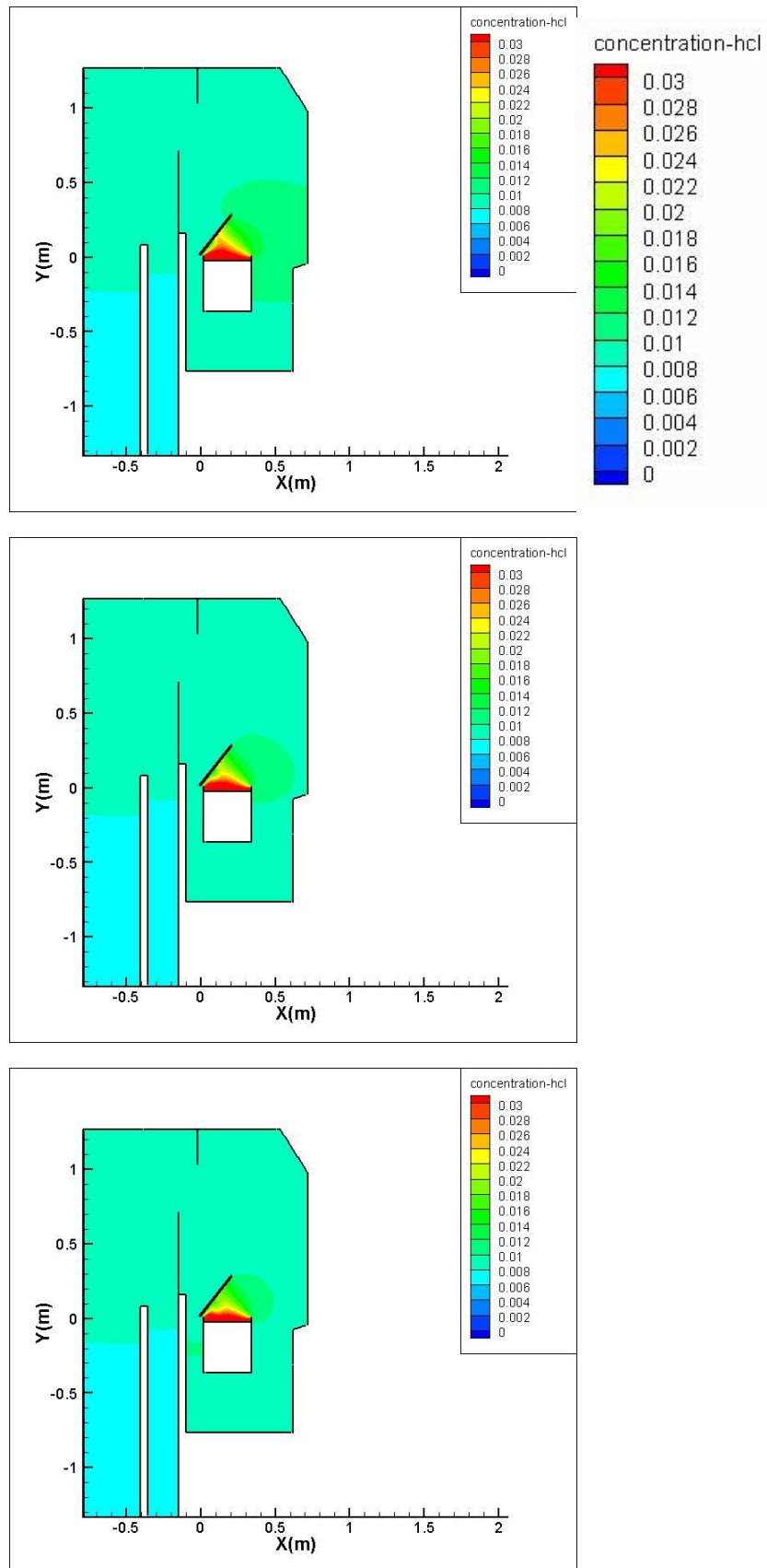


圖 4-53 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 51.6 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 kmol/m^3)

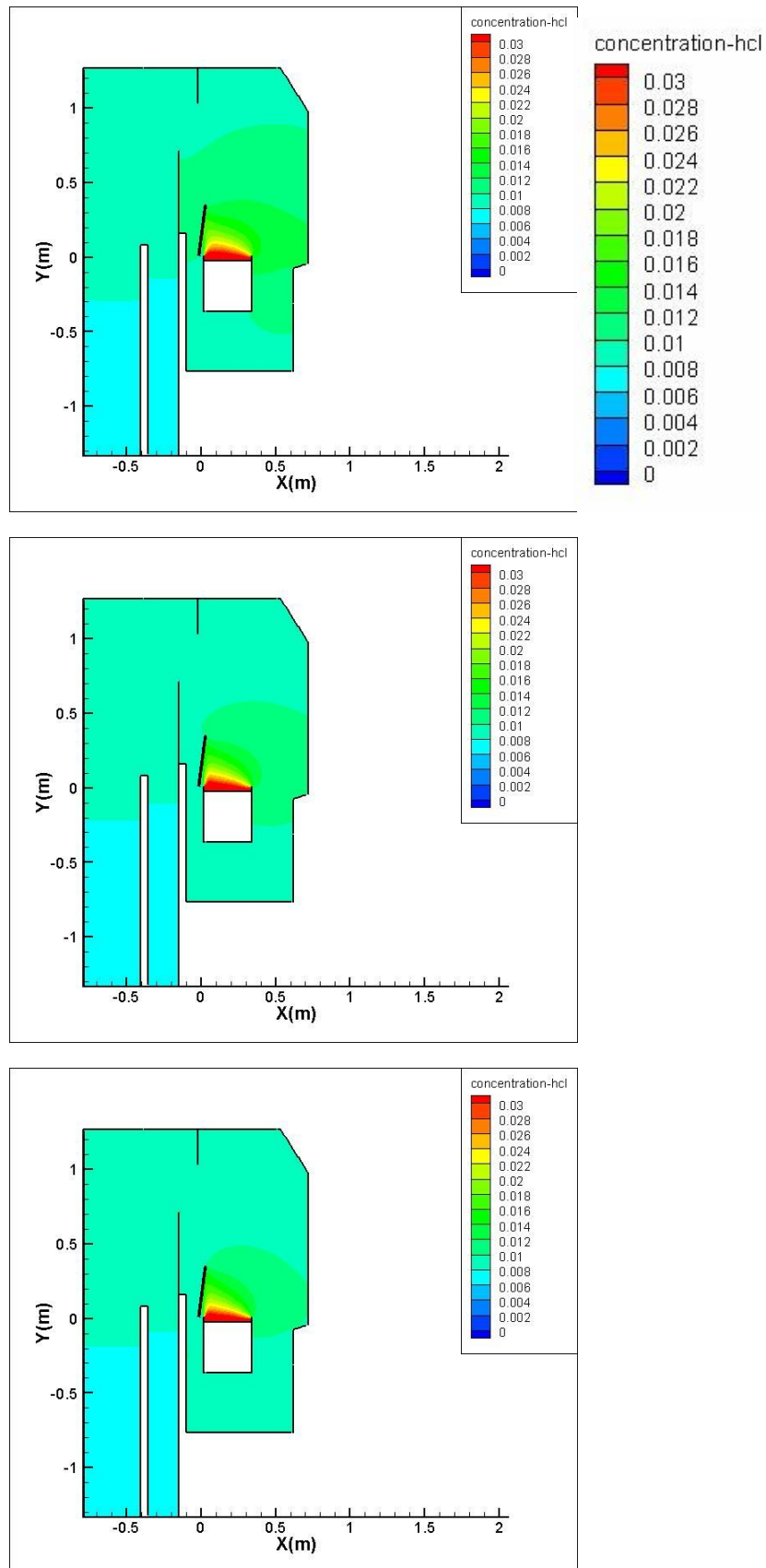


圖 4-54 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 82.5 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 kmol/m^3)

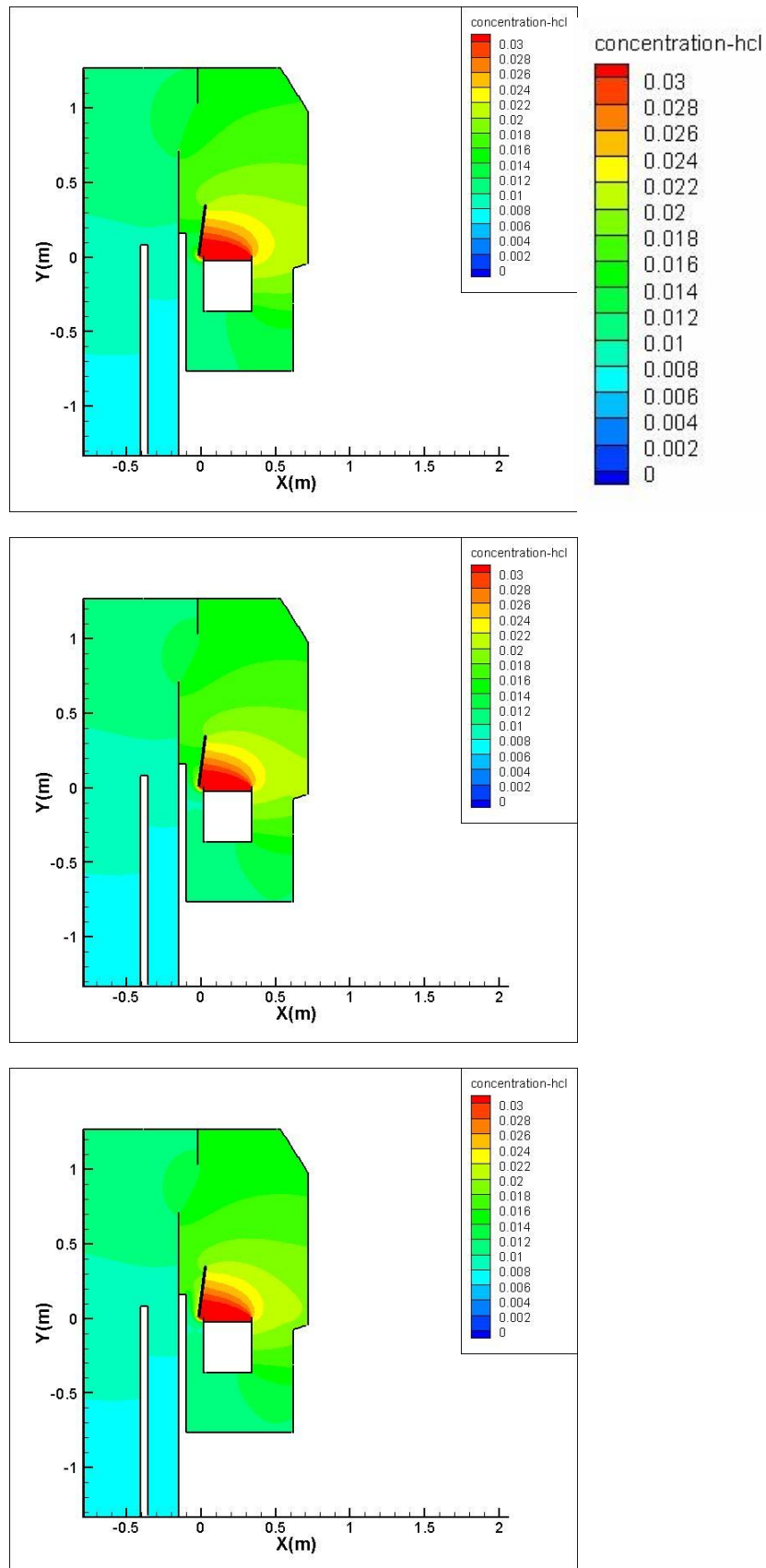


圖 4-55 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子定住 12 秒後濃度分佈圖

(由上至下 單位 kmol/m^3)

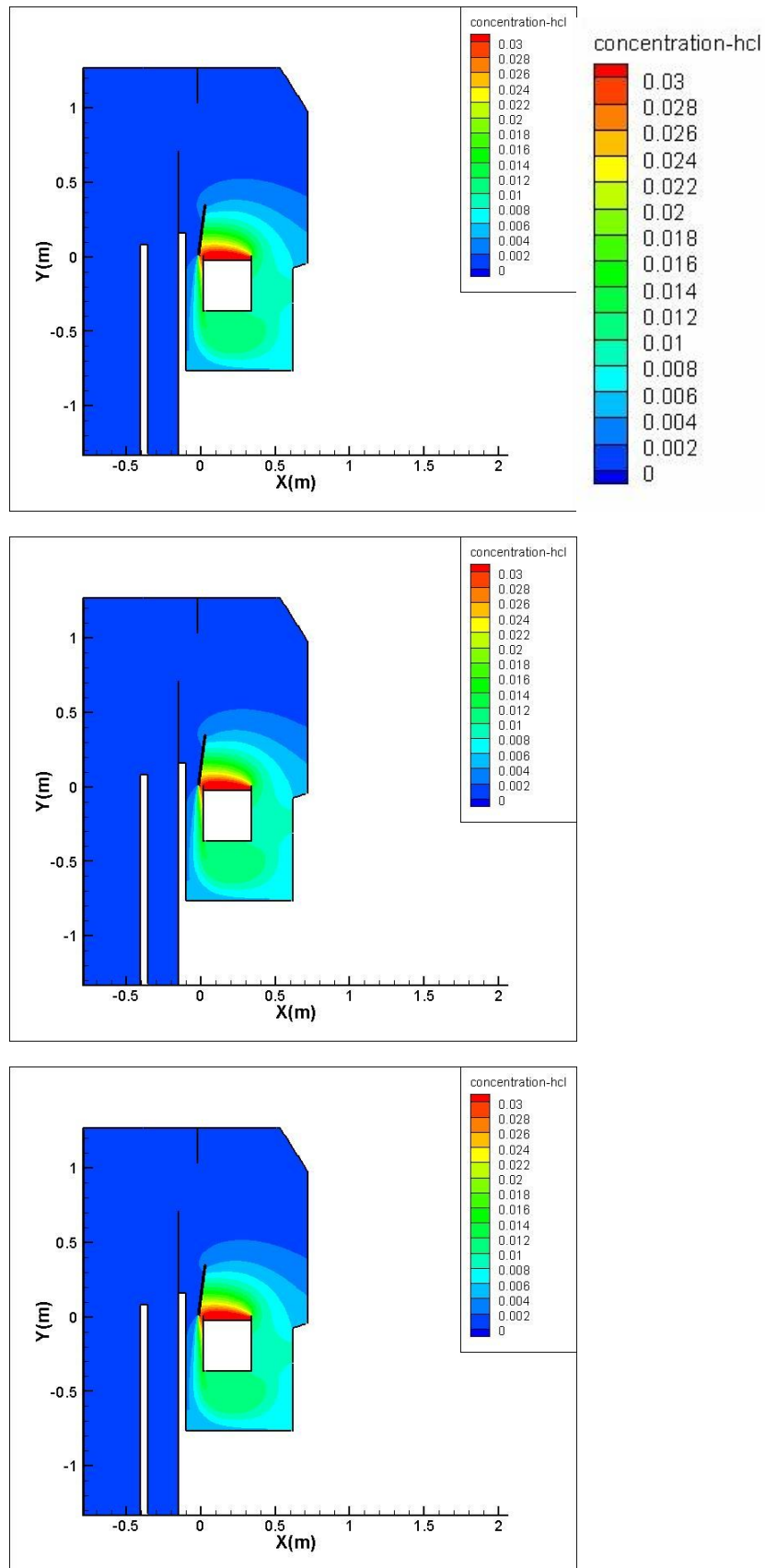


圖 4-56 系統進風與抽風至穩定濃度分佈圖

(由上至下蓋子 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 單位 kmol/m^3)

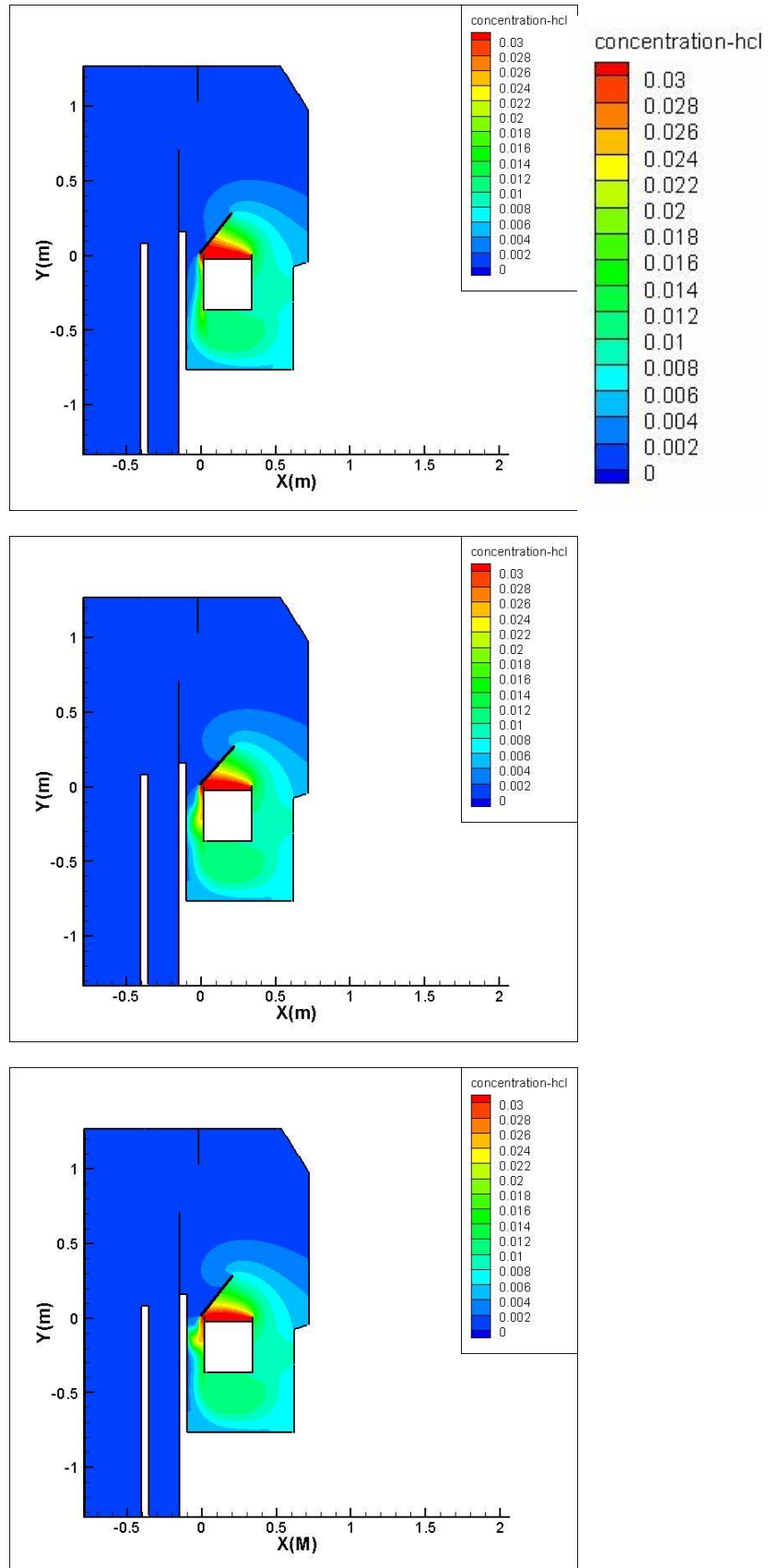


圖 4-57 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 51.6 度濃度分佈圖

(由上至下 單位 $kmol/m^3$)

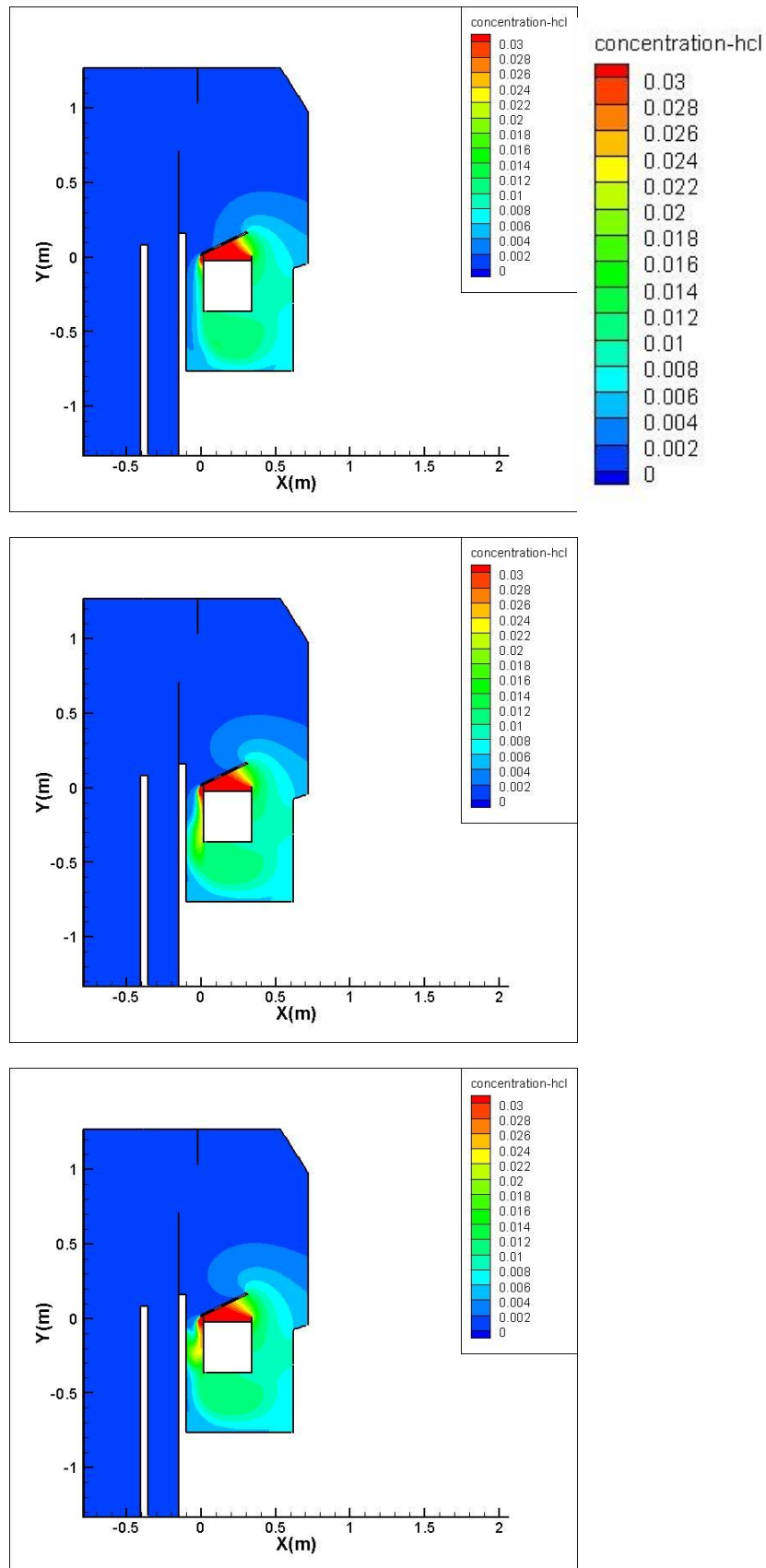


圖 4-58 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 25.8 度濃度分佈圖
(由上至下 單位 kmol/m^3)

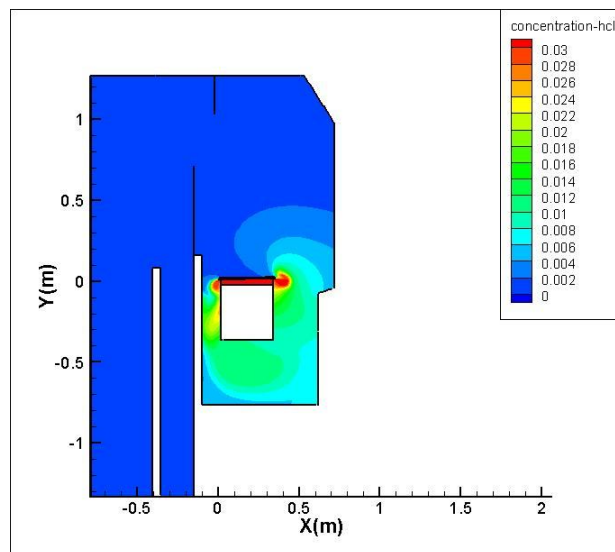
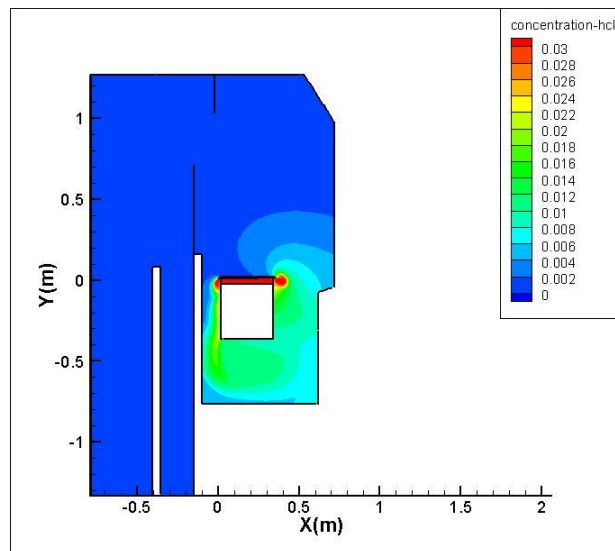
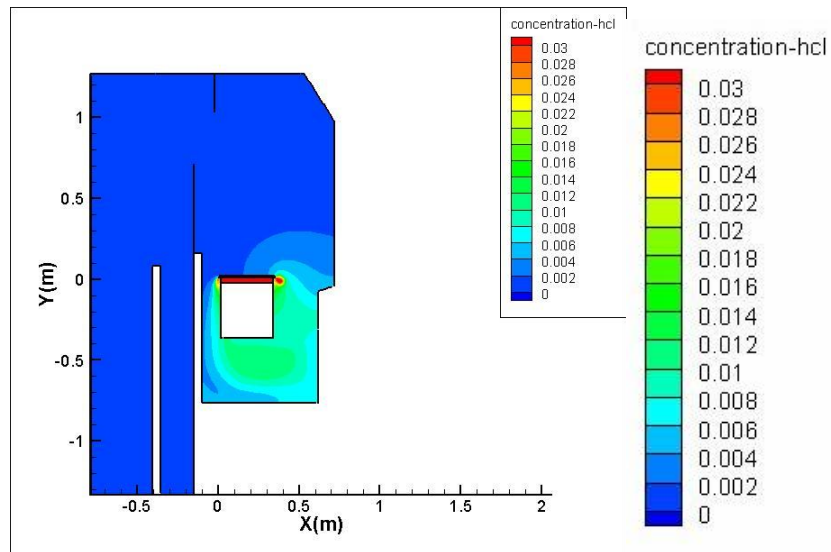


圖 4-59 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時濃度分佈圖

(由上至下 單位 kmol/m^3)

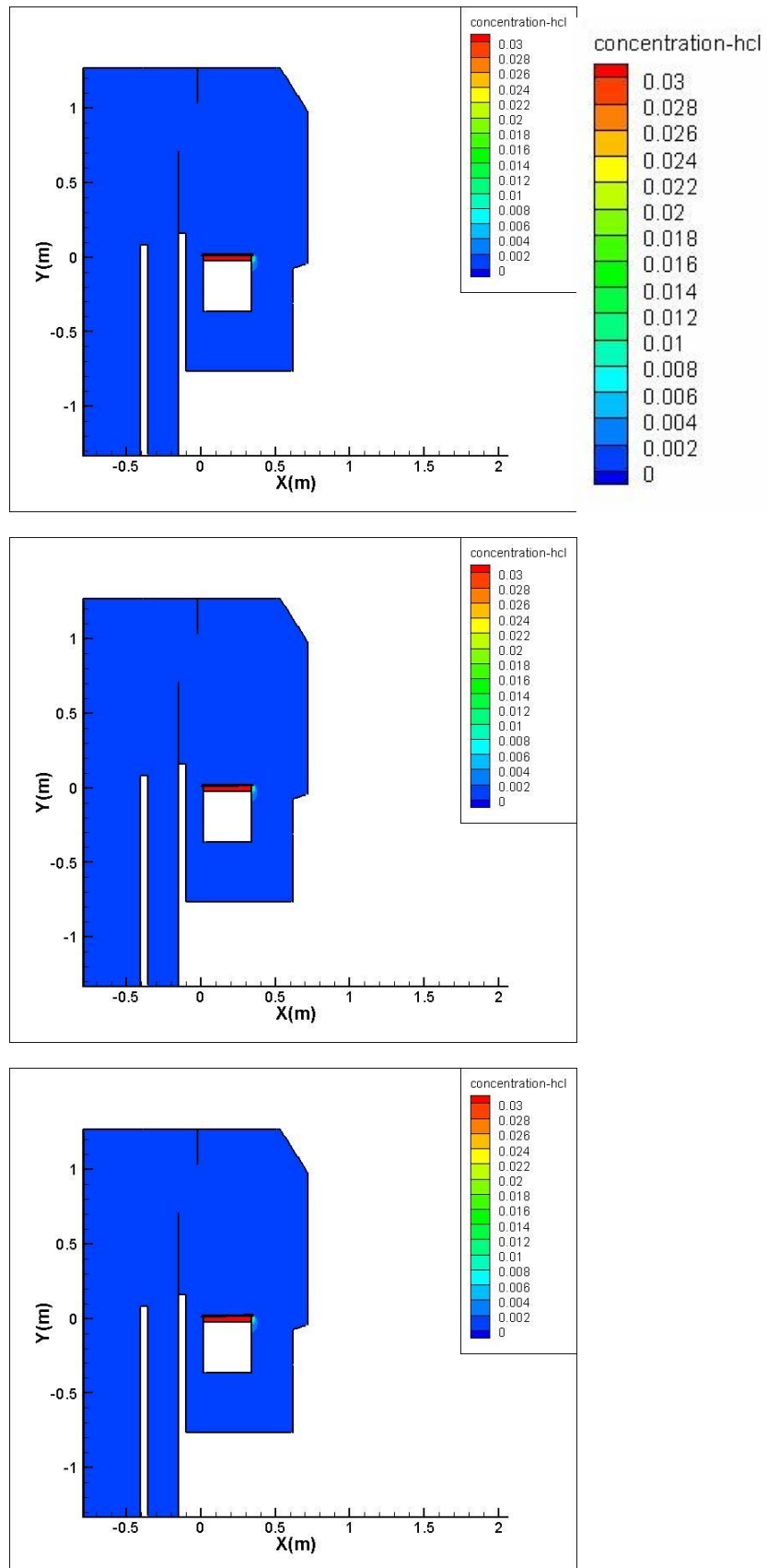


圖 4-60 系統最終濃度分佈圖

(由上至下蓋子 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 單位 kmol/m^3)

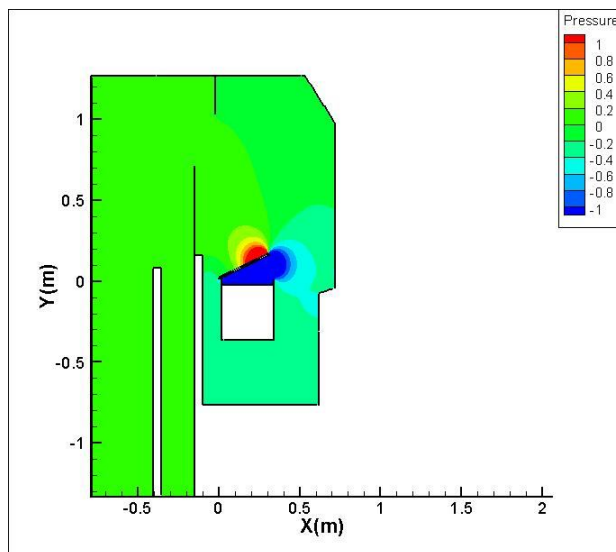
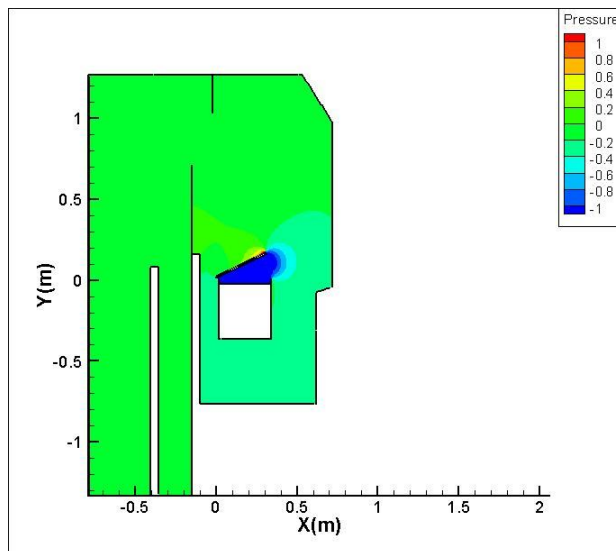
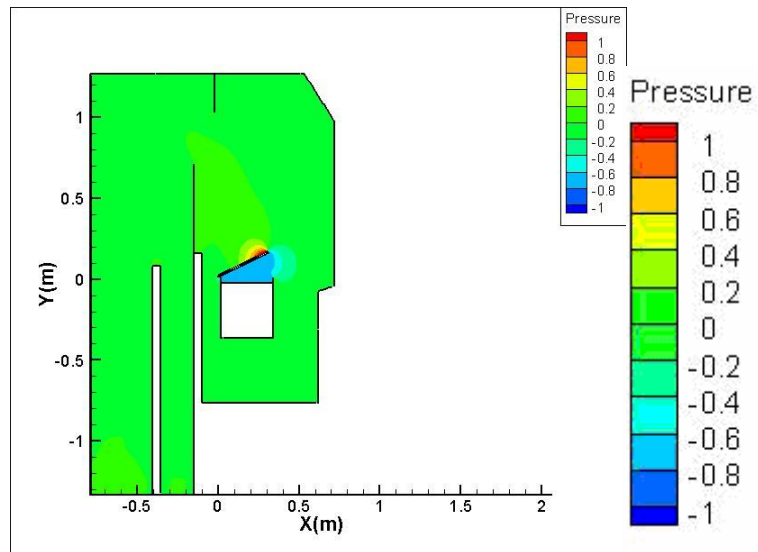


圖 4-61 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 25.8 度壓力分佈圖

(由上至下 單位 Pa)

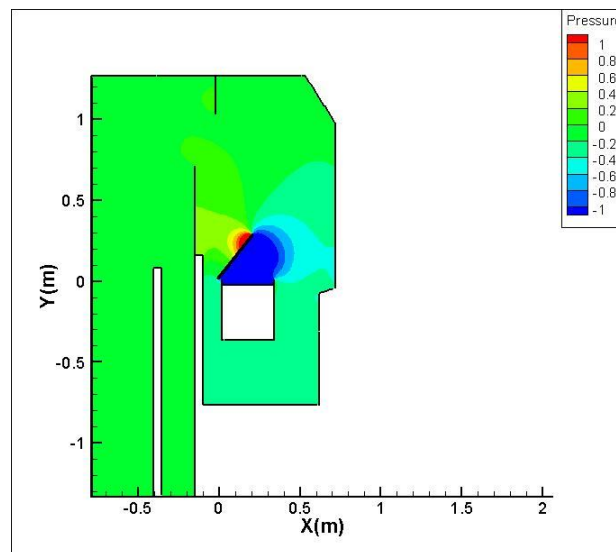
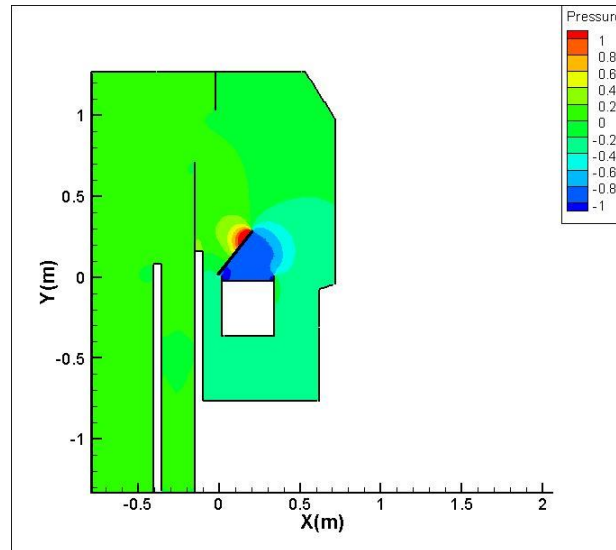
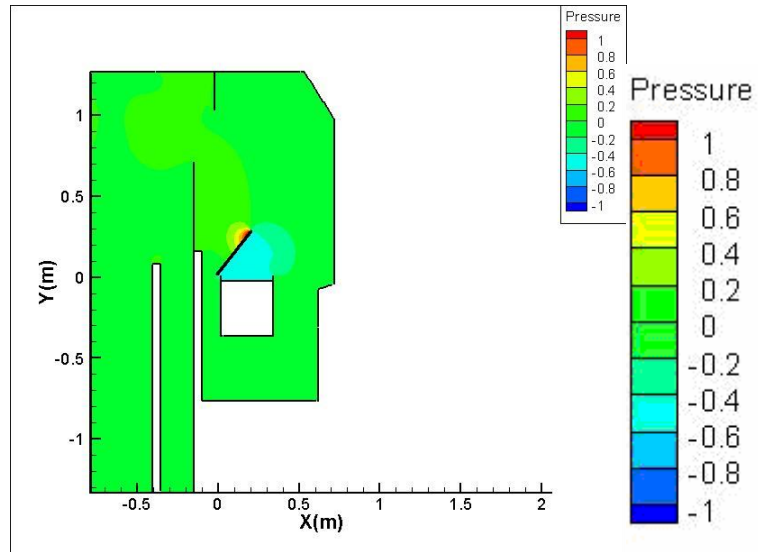


圖 4-62 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 51.6 度壓力分佈圖

(由上至下 單位 Pa)

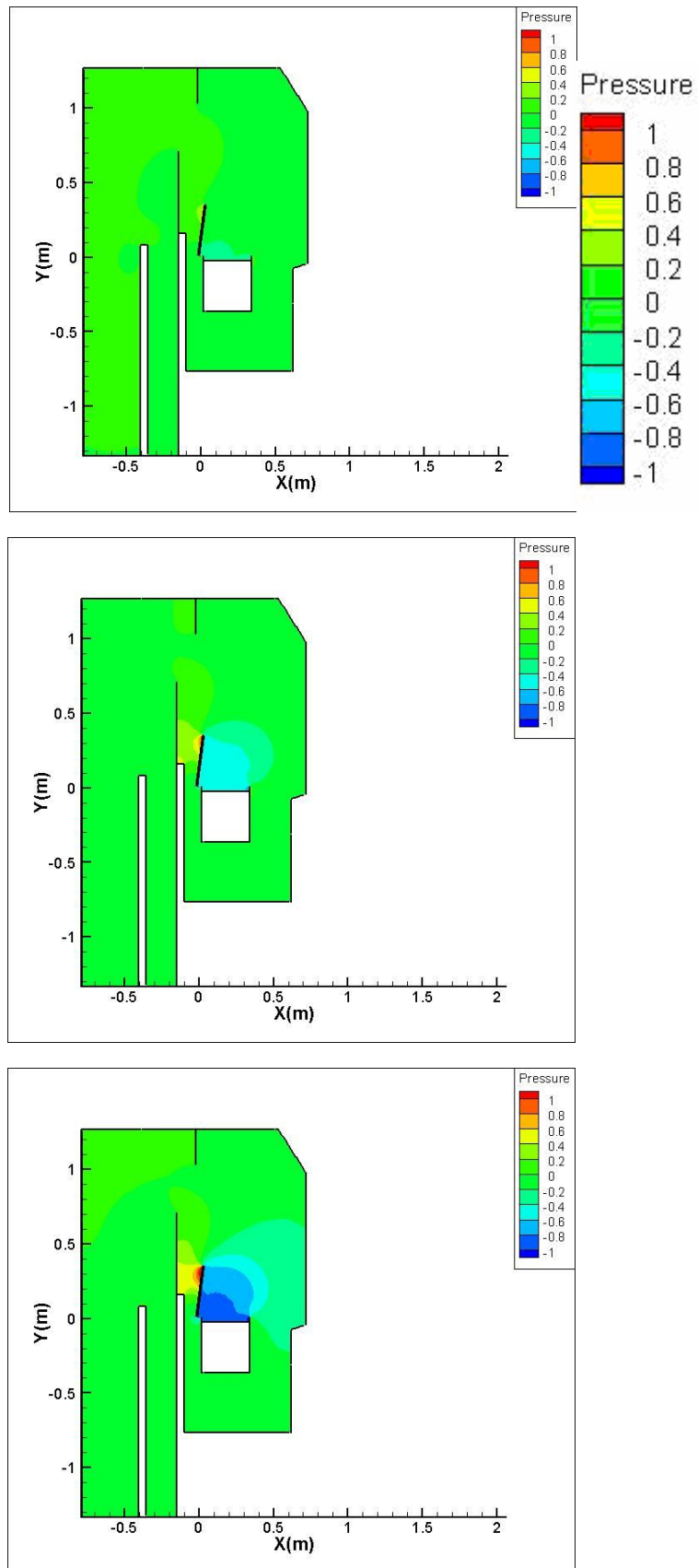


圖 4-63 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 82.5 度壓力分佈圖

(由上至下 單位 Pa)

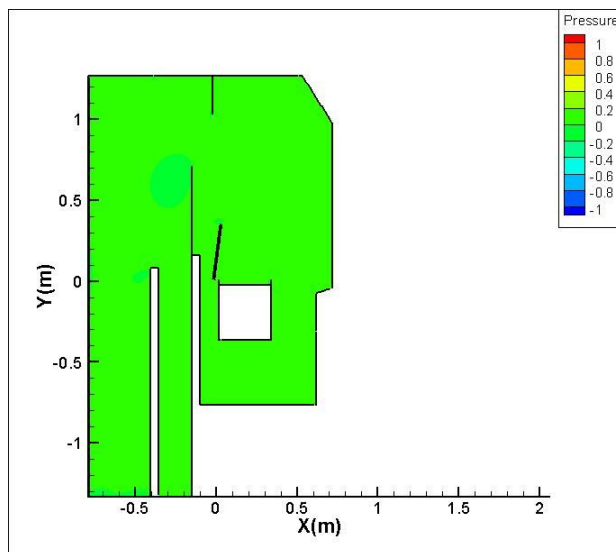
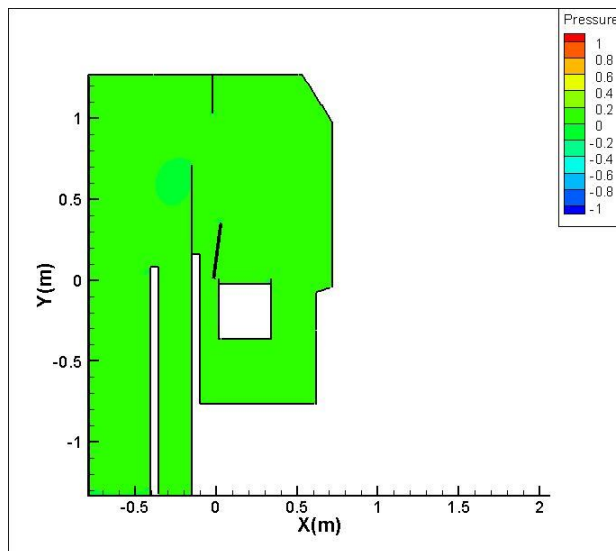
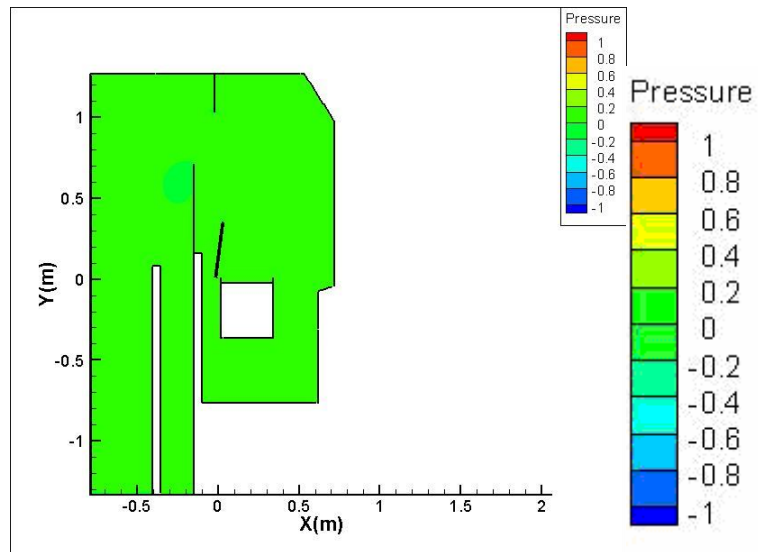


圖 4-64 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子定住 12 秒後壓力分佈圖

(由上至下 單位 Pa)

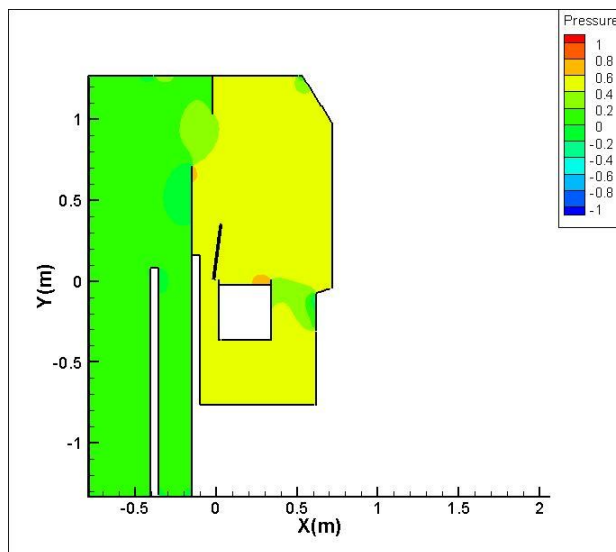
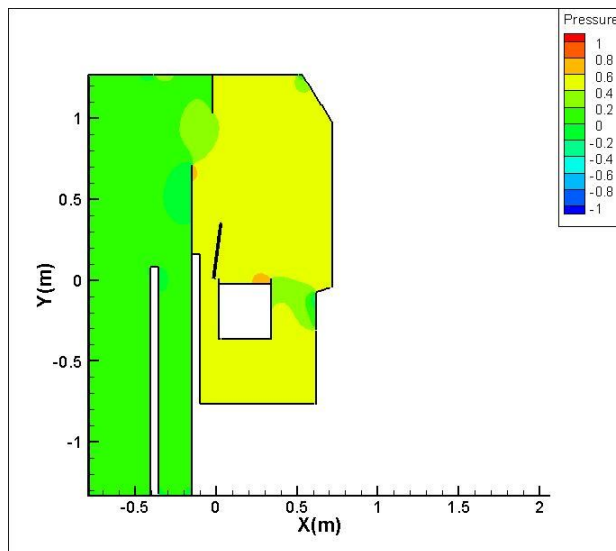
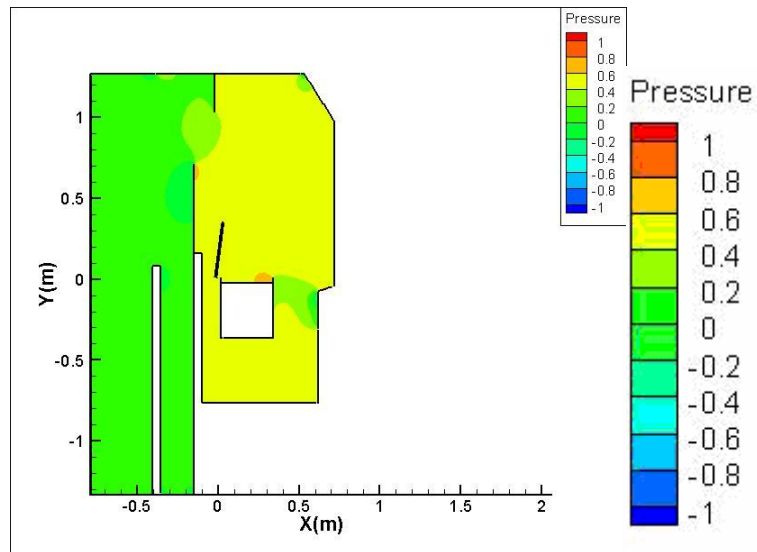


圖 4-65 系統進風與抽風至穩定壓力分佈圖

(由上至下蓋子 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 單位 Pa)

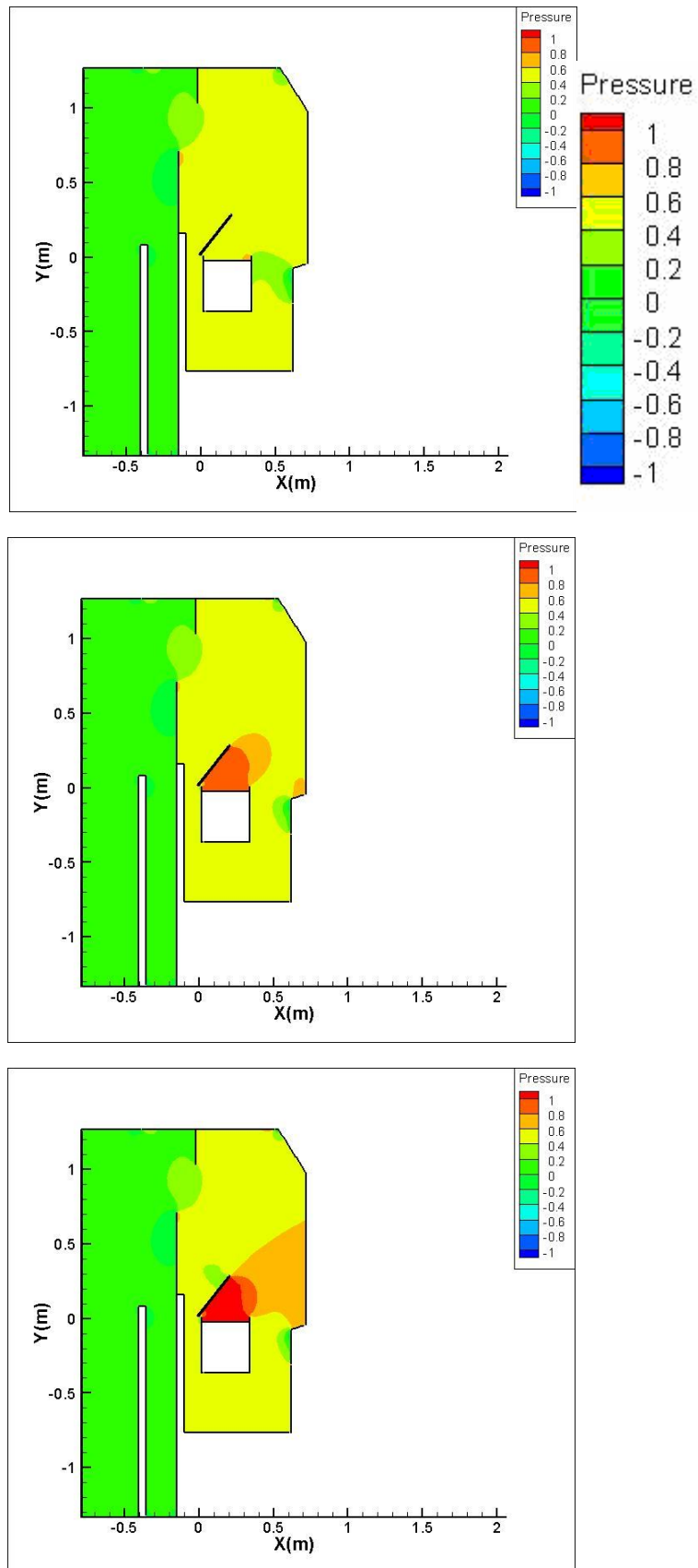


圖 4-66 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 51.6 度壓力分佈圖
(由上至下 單位 Pa)

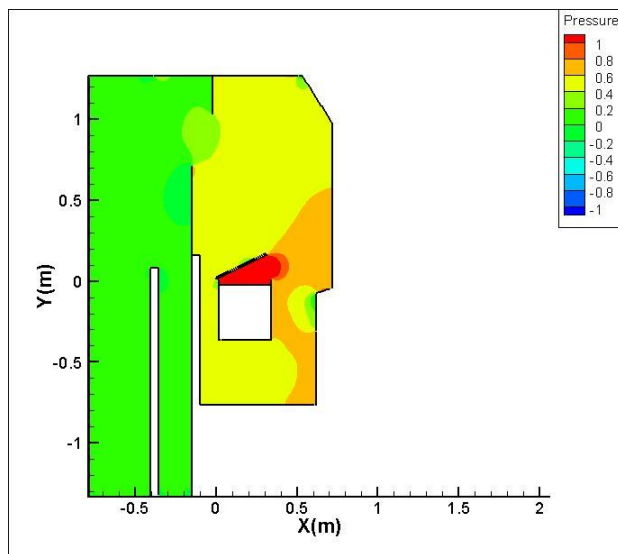
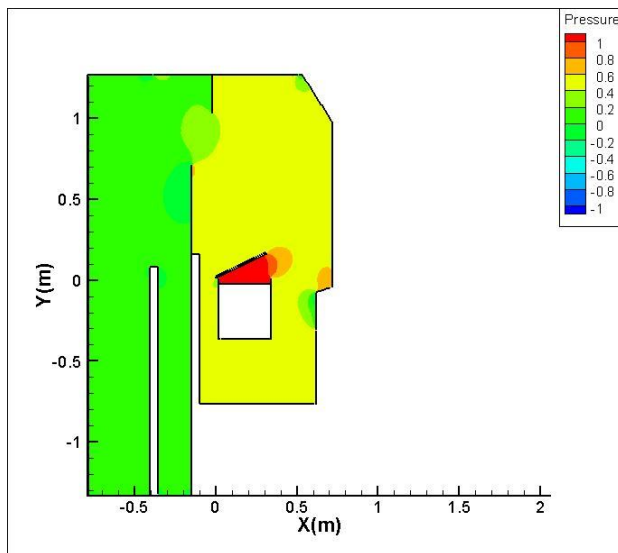
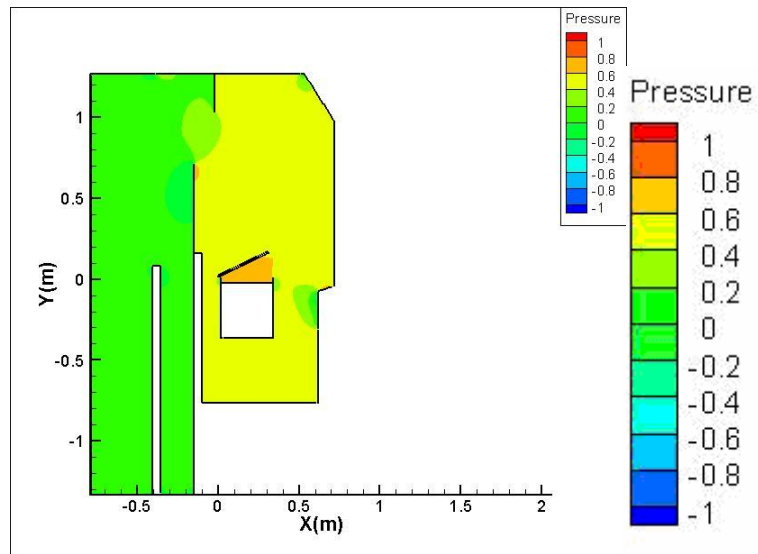


圖 4-67 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 25.8 度壓力分佈圖
(由上至下 單位 Pa)

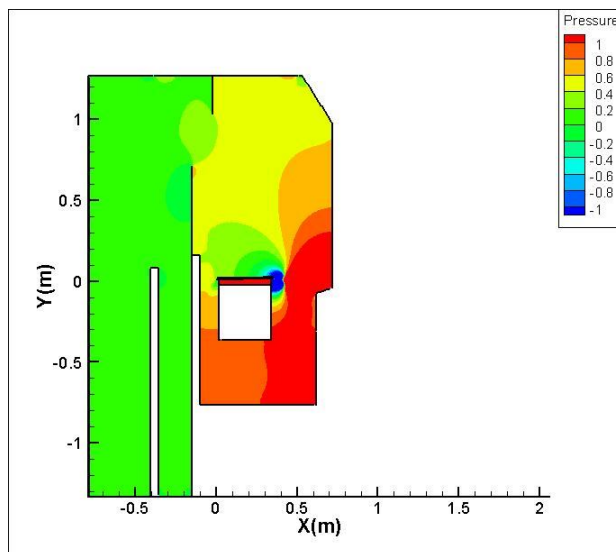
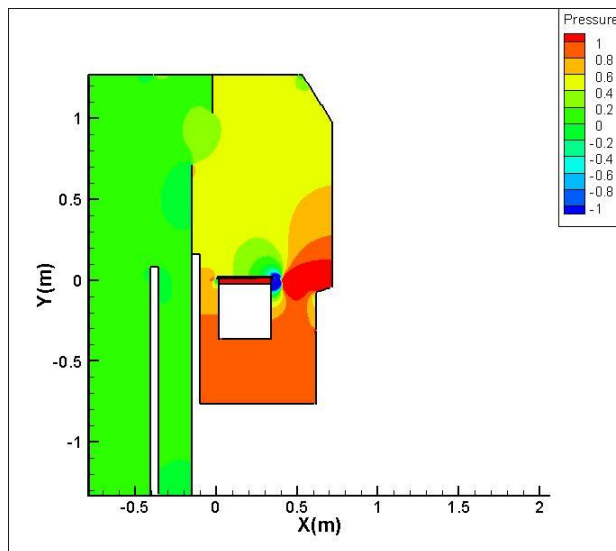
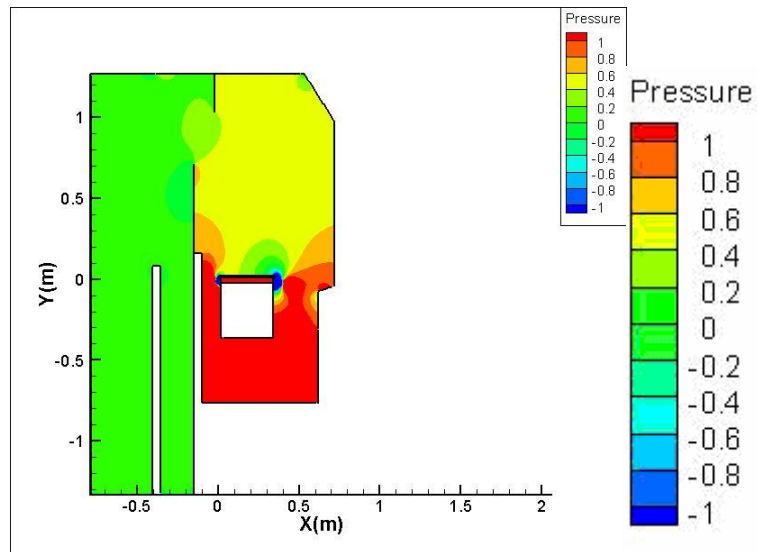


圖 4-68 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時壓力分佈圖

(由上至下 單位 Pa)

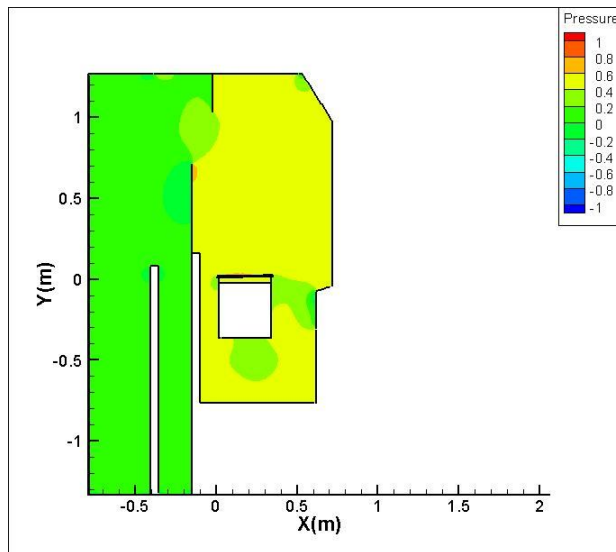
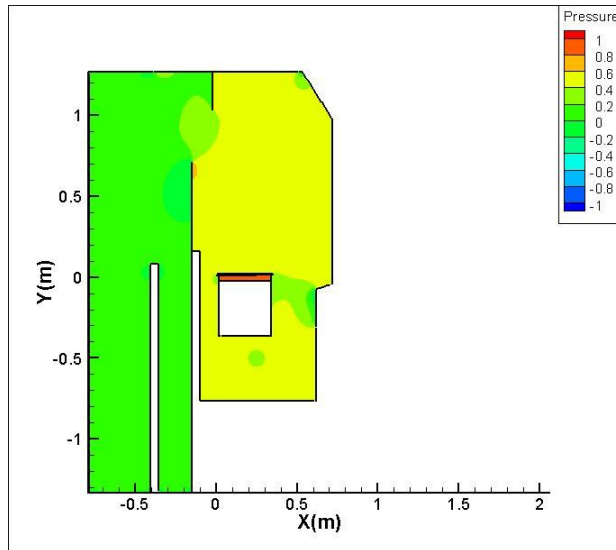
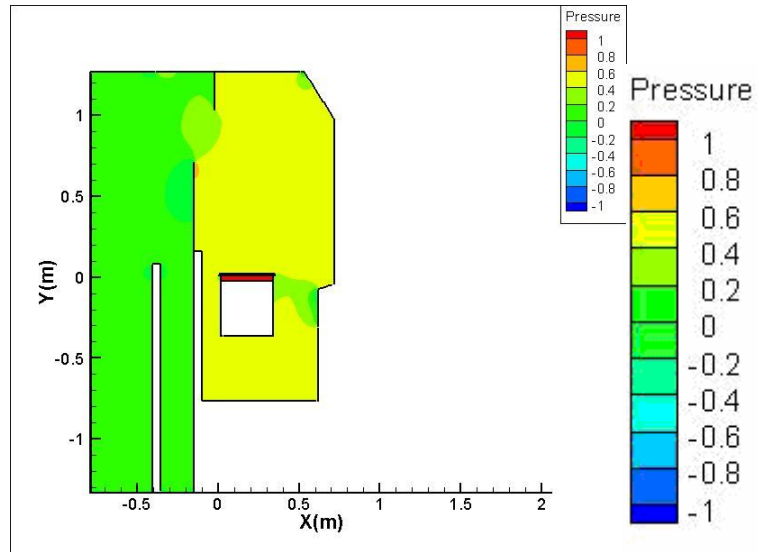


圖 4-69 系統最終壓力分佈圖

(由上至下蓋子 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 單位 Pa)

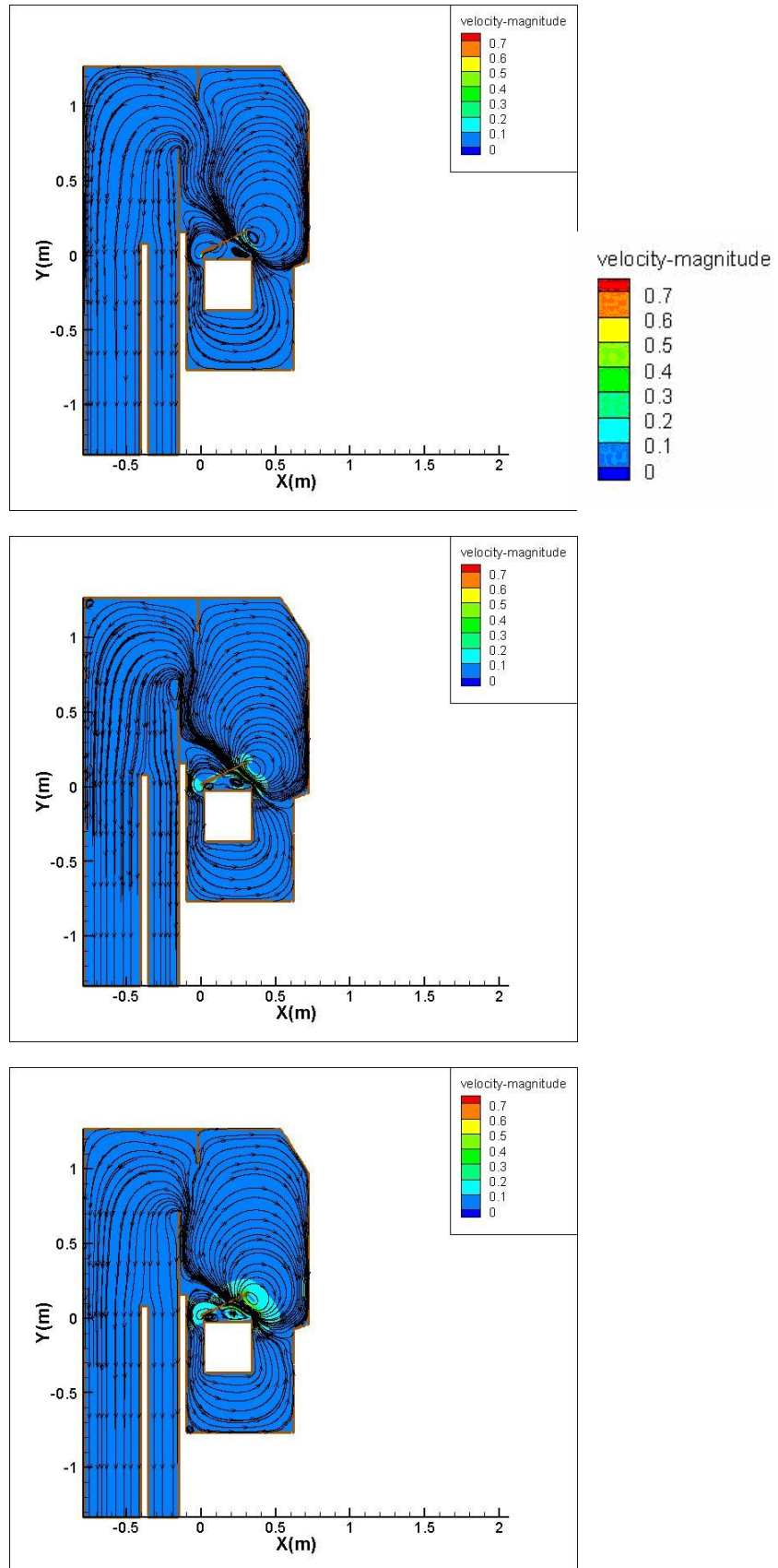


圖 4-70 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 25.8° 速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

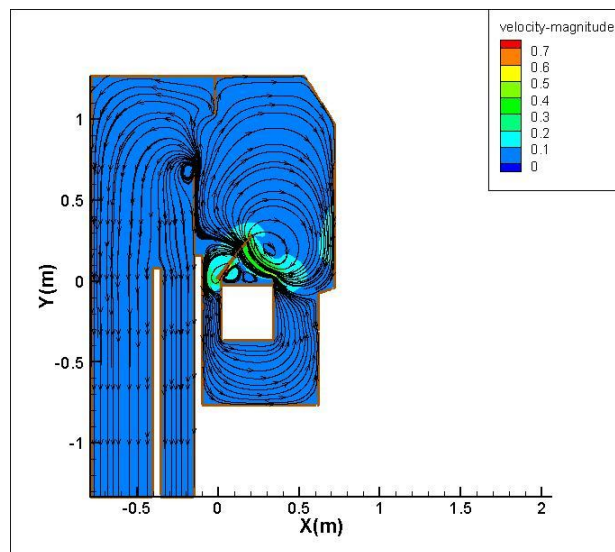
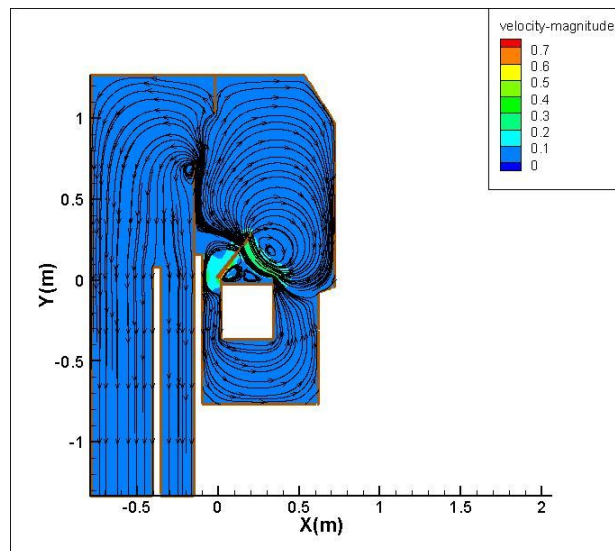
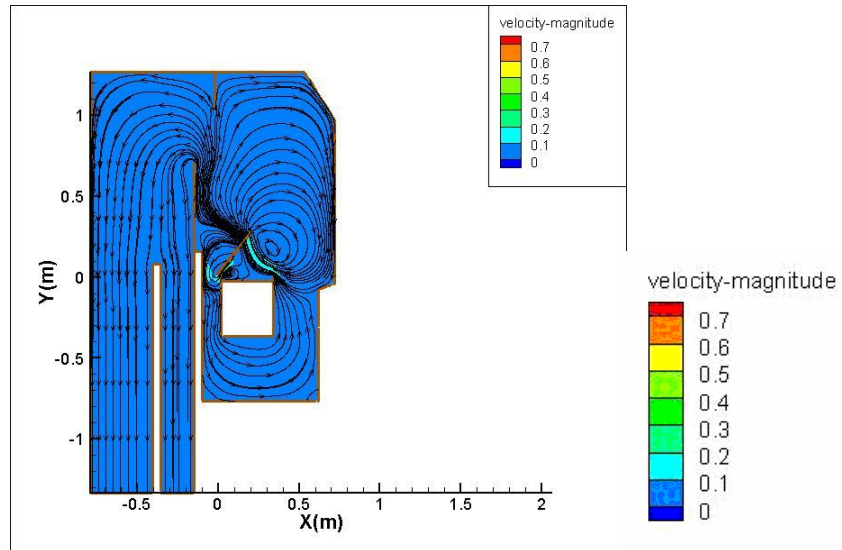


圖 4-71 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子轉角 51.6 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

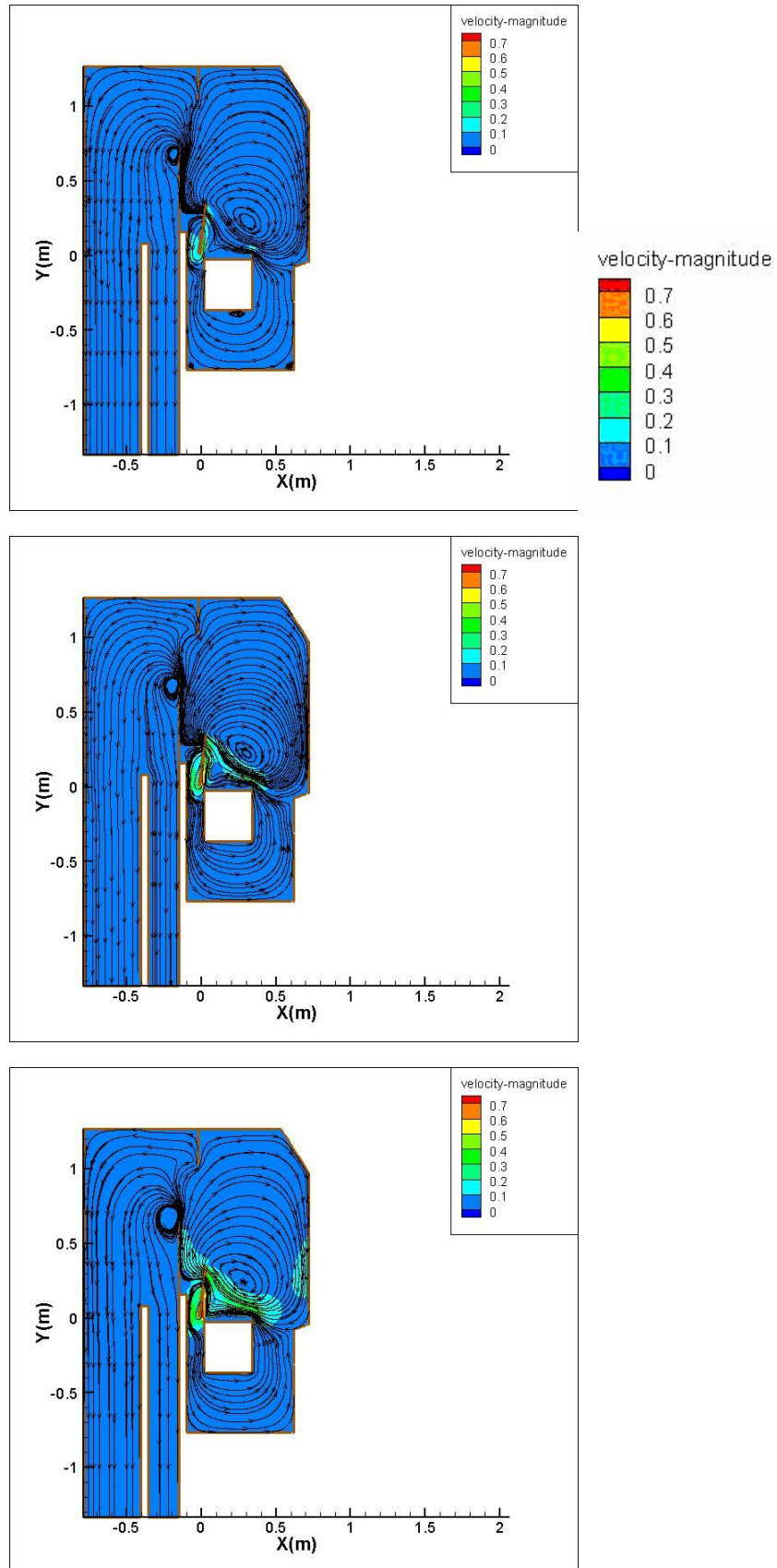


圖 4-72 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子轉角 82.5° 速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

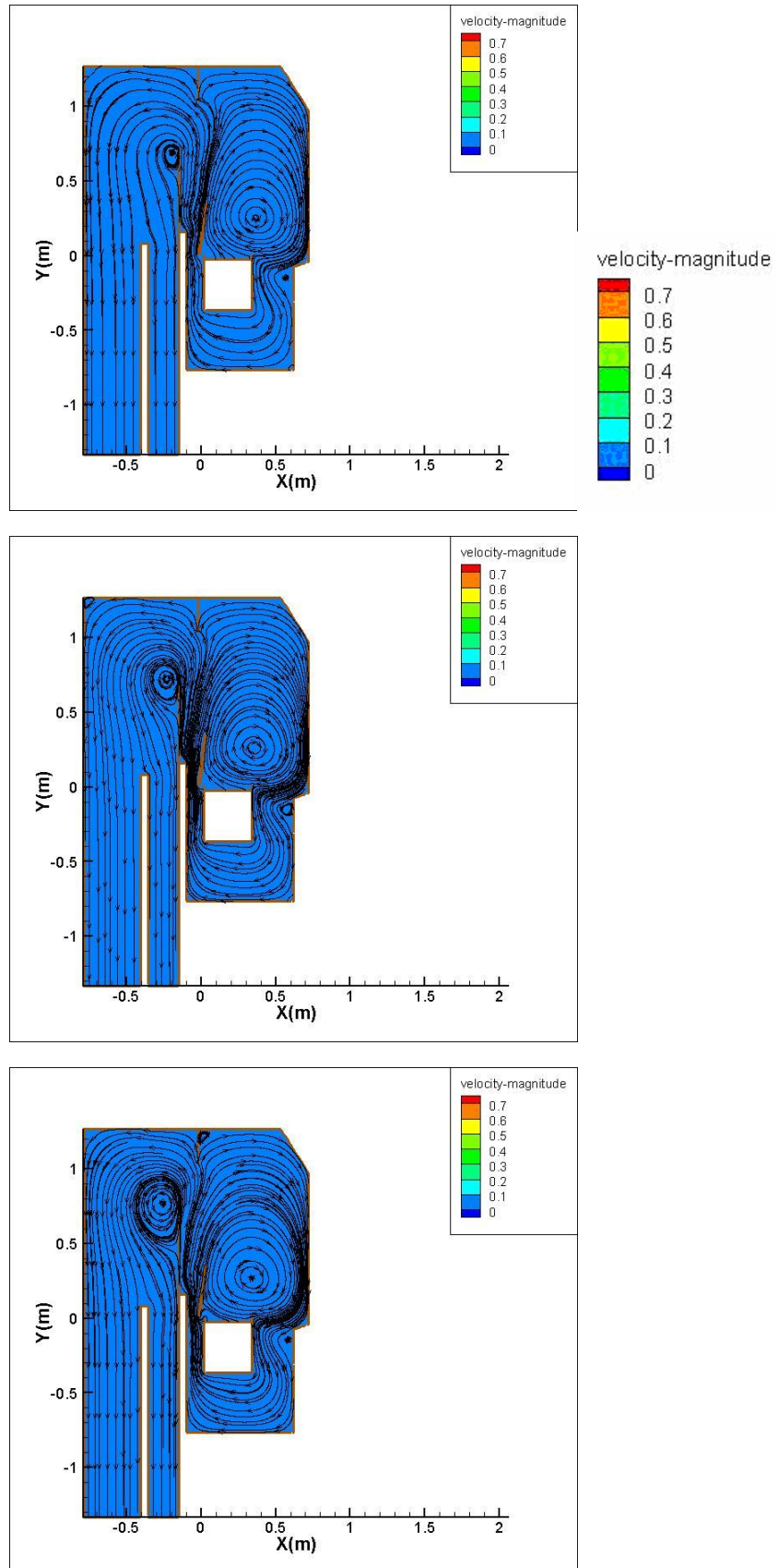


圖 4-73 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子定住後 12 秒速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

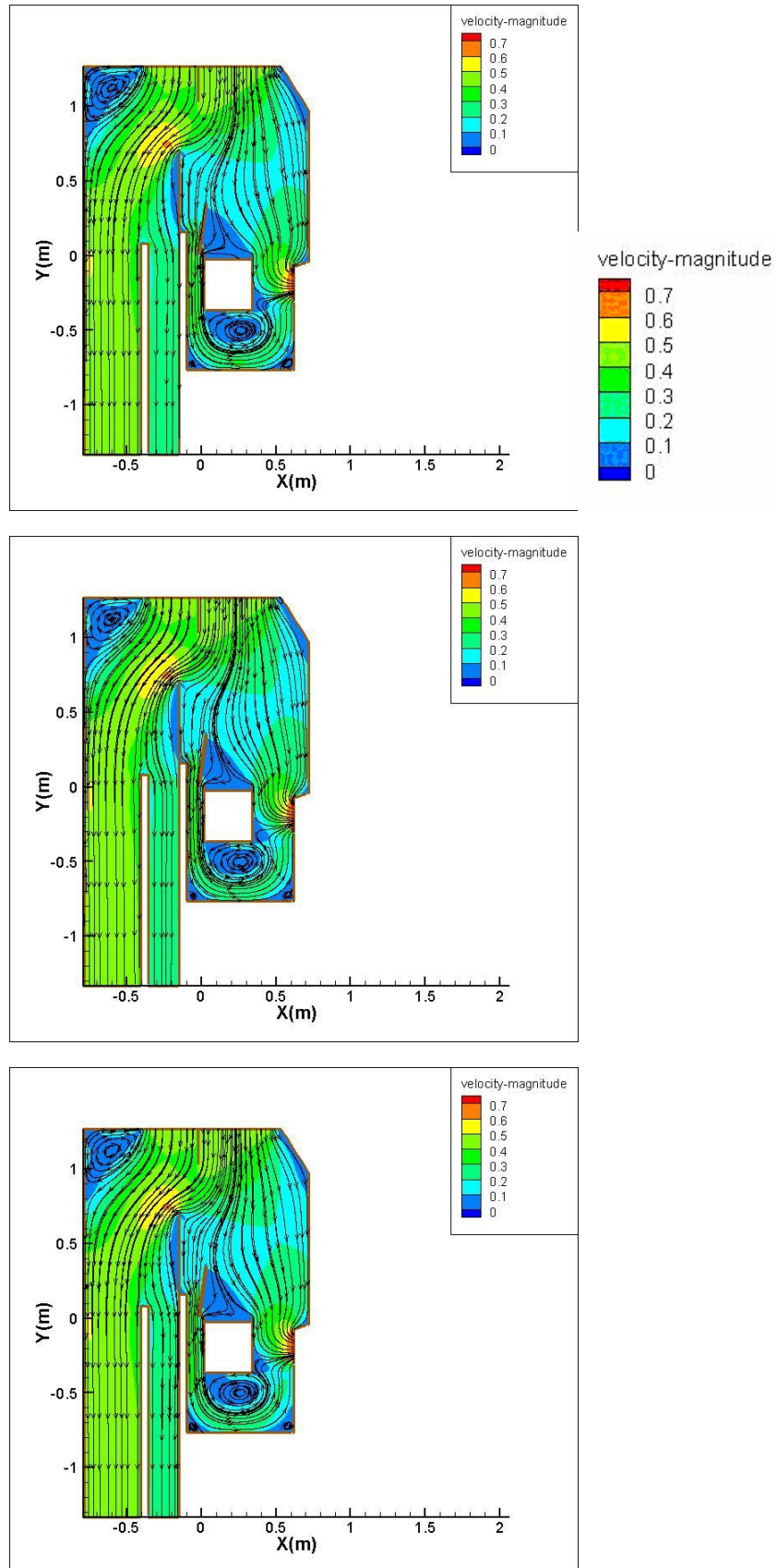


圖 4-74 系統進風與抽風至穩定速度流線分佈圖

(由上至下蓋子 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 單位 m/s)

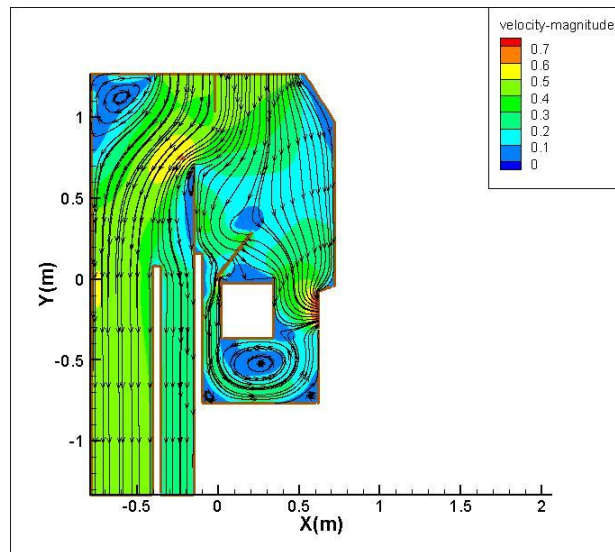
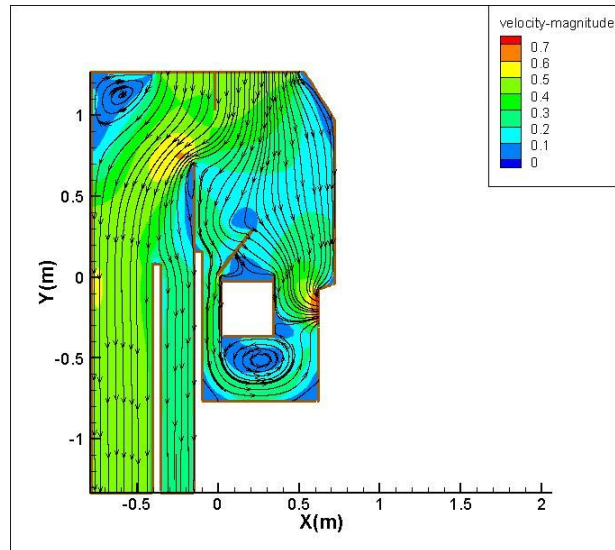
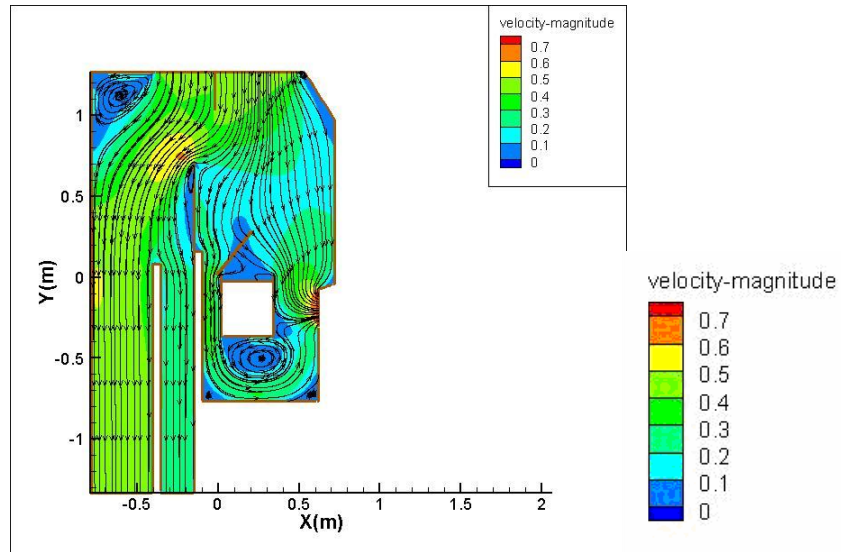


圖 4-75 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 51.6 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

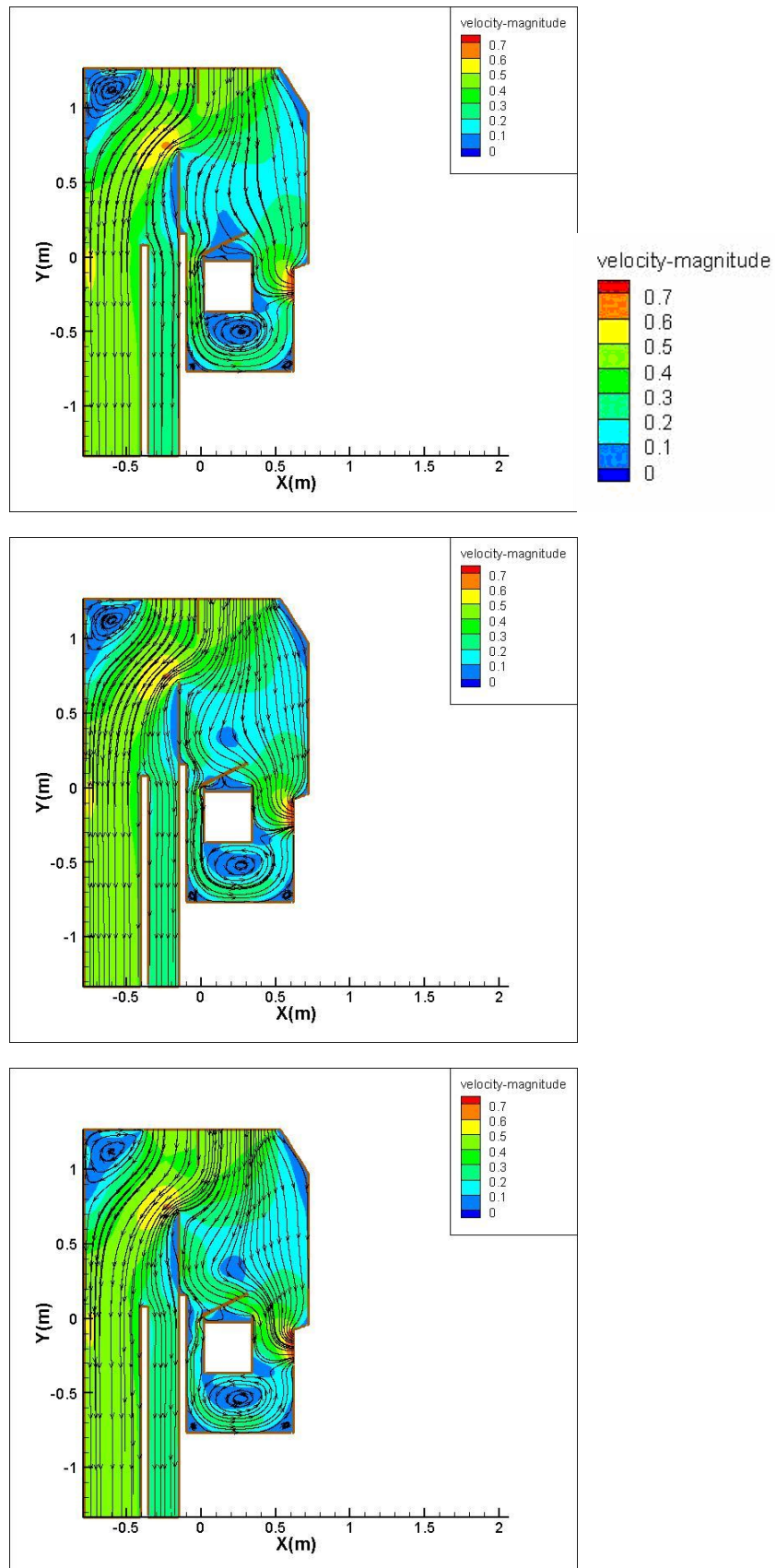


圖 4-76 0.3rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子反轉至 25.8 度速度流線分佈圖
(由上至下 單位 m/s)

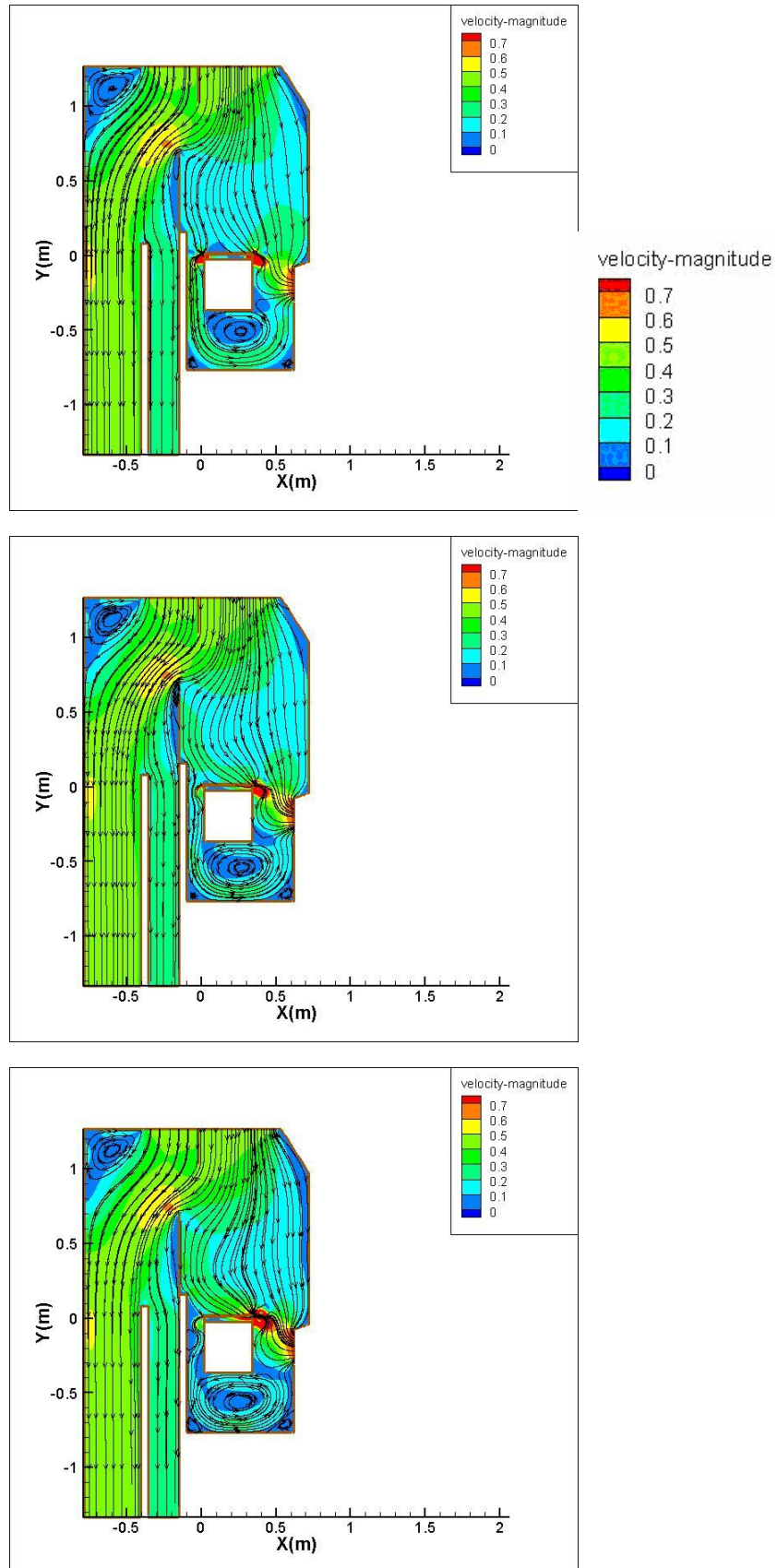


圖 4-77 0.3 rad/s、0.6rad/s、0.9rad/s 蓋子閉合時速度流線分佈圖

(由上至下 單位 m/s)

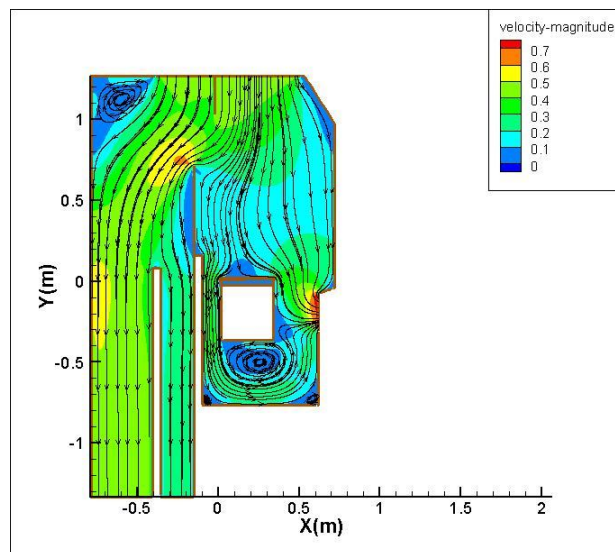
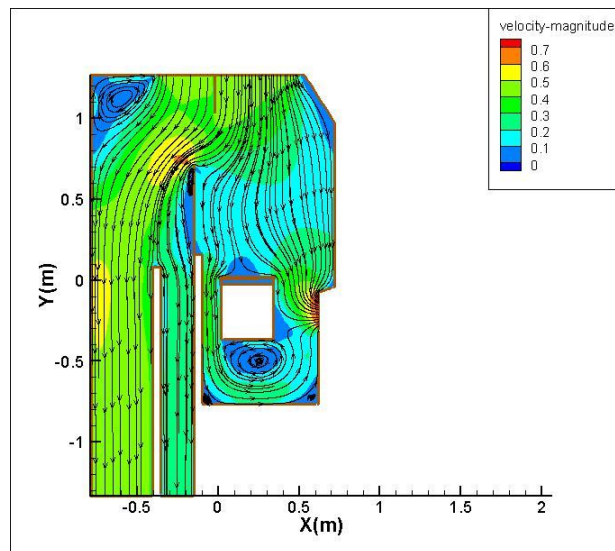
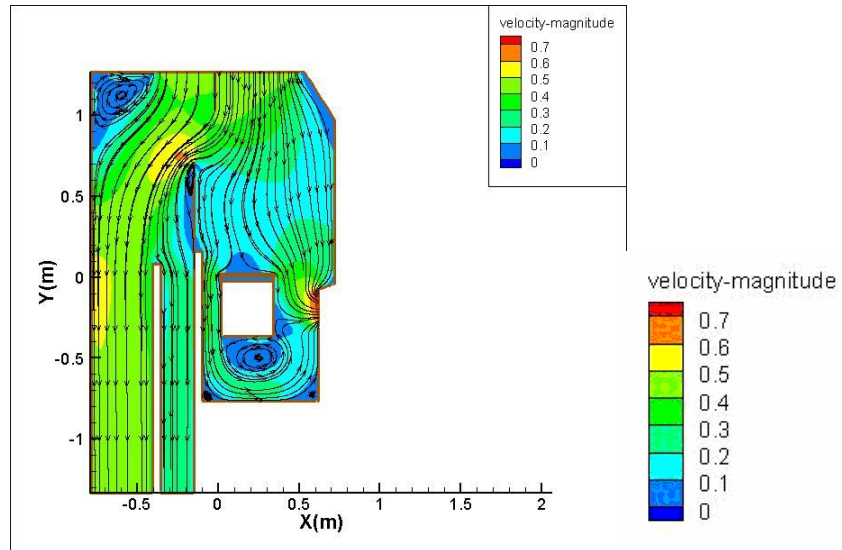


圖 4-78 系統最終速度流線分佈圖

(由上至下蓋子 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 單位 m/s)

表 4-2 各轉速下蓋子打開至 51.6 度時蓋子之受力數據

| 0.3 rad/s | Pressure force(N) | Viscous force(N) | Total force(N) |
|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| X component | 0.22598894 | 0.00044049174 | 0.22642943 |
| Y component | -0.17450683 | 0.00047297636 | -0.17403385 |
| 0.6 rad/s | Pressure force(N) | Viscous force(N) | Total force(N) |
| X component | 0.43943882 | 0.00092176883 | 0.44036059 |
| Y component | -0.34201288 | 0.00093335204 | -0.34107953 |
| 0.9 rad/s | Pressure force(N) | Viscous force(N) | Total force(N) |
| X component | 0.54632735 | 0.0012827967 | 0.54761015 |
| Y component | -0.41911197 | 0.0012993484 | -0.41781262 |

表 4-3 各轉速下蓋子反轉至 51.6 度時蓋子之受力數據

| 0.3 rad/s | Pressure force(N) | Viscous force(N) | Total force(N) |
|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| X component | 0.0076007848 | -0.00055484305 | 0.0070459417 |
| Y component | -0.0089548398 | -0.00068802491 | -0.0096428647 |
| 0.6 rad/s | Pressure force(N) | Viscous force(N) | Total force(N) |
| X component | -0.12008354 | -0.00066789595 | -0.12075144 |
| Y component | 0.094152123 | -0.0007686193 | 0.093383503 |
| 0.9 rad/s | Pressure force(N) | Viscous force(N) | Total force(N) |
| X component | -0.17384842 | -0.00049919664 | -0.17434762 |
| Y component | 0.13937292 | -0.00054184033 | 0.13883107 |

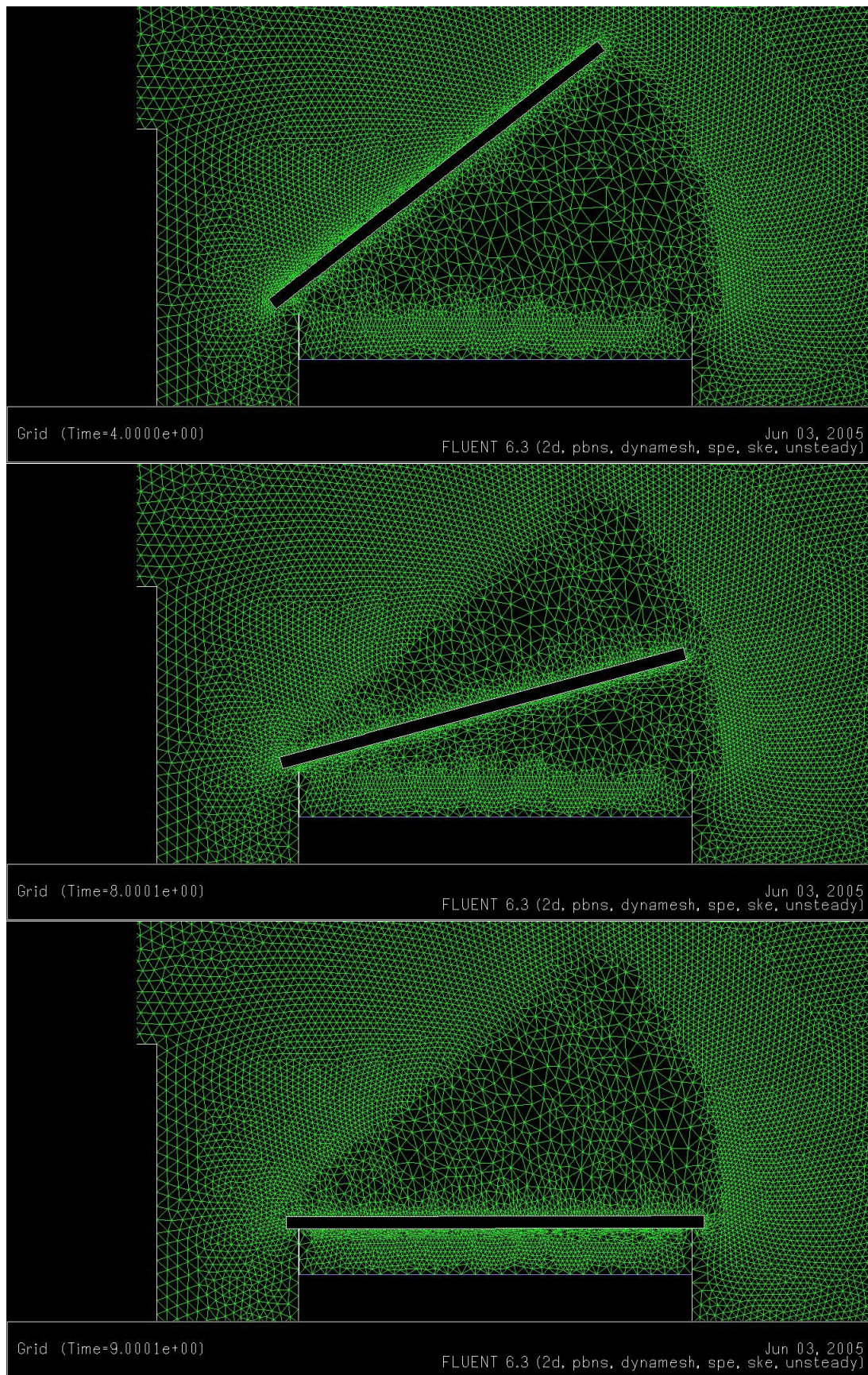
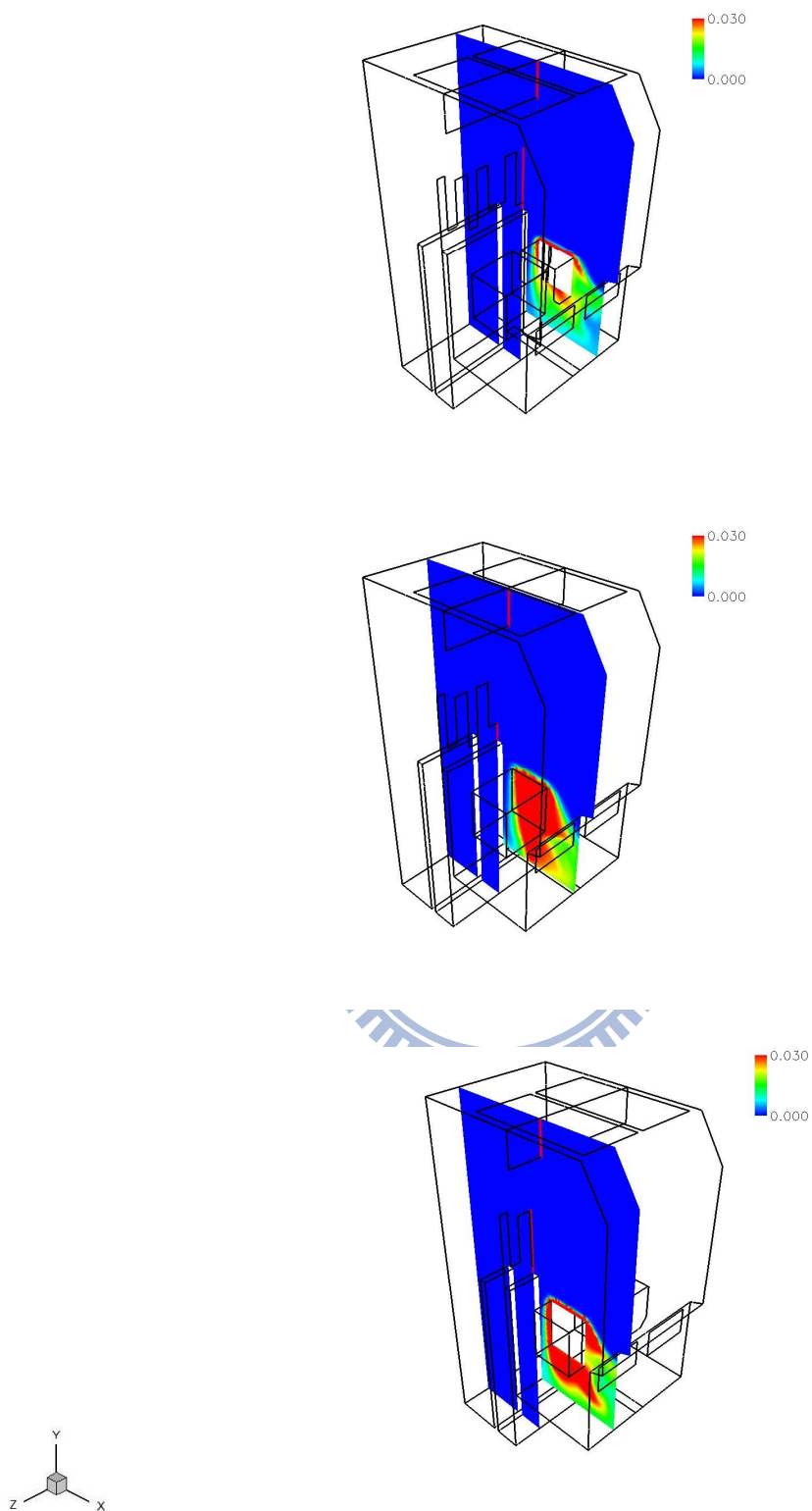


圖 4-79 蓋子初始轉速 0.3 rad/s 三時間點網格壓縮與拉伸情形圖

第五章 結論

本研究以 STAR CD 與 FLUENT 套裝軟體為計算平台，分別模擬三維清洗檯槽在三種不同尺寸的抽風口下探討如何藉著進風口向下吹氣及抽風口向外抽氣，使槽面自然擴散的毒氣可以因此沉積於槽底，不擴及至工作人員。然後得到的最佳結果再以相同尺寸模擬二維清洗檯槽面加裝旋轉蓋子，觀察其轉動造成的流場變化。經模擬結果並結合前述各章節的內容得到以下結論。

1. 單一抽風口流量至少要 $0.0504 \text{ m}^3/\text{s}$ ，才可使毒氣不捲起越過前擋板。
2. LAYERING 運動方式可使網格移動規律化，但只適用於線性運動。
3. 就以單一抽風口面積 720 cm^2 所做的二維模擬，蓋子三種轉速下所對應的毒氣皆可抽光，但 0.3 rad/s 蓋子所對應的抽風口濃度變化較穩定。若可使進風口與抽風口一開始就持續運作，則不會出現毒氣自然擴散而越過前擋板的狀況，但模擬必須依照實際情形。故以實際情形而言， 0.3 rad/s 、 0.6 rad/s 、 0.9 rad/s 蓋子所對應的毒氣抽光時間分別為 86、80、78s。
4. 擋板的放置點相當重要。以本模擬為例，當蓋子定住 12 秒後，自然擴散的毒氣，繞過上擋板下緣散溢，上擋板近乎已無作用，毒氣繞其下緣通過。
5. 當蓋子蓋起瞬間，會擠出大量高濃度的氣體，抽風口必須適時將其抽出，避免毒氣上捲。
6. 若要模擬機械手臂二段式平移移動，則必須建立三維模型。
7. 可在兩槽間的底部裝置下側抽風口，以抽氣而言，可更加有效清除兩槽間累積的毒氣，但同時也有高濃度的毒氣累積在兩擋板處，但不會擴及工作人員。濃度分佈如圖 4-80。
8. 0.3 rad/s 為蓋子最佳轉速，因毒氣被蓋子擾動的程度最小，且抽風口濃度變最為穩定，但當蓋子停止 12 秒時，毒氣自然擴散的量為三轉速中最大。
9. 以 Z 方向而言，三維系統兩側與槽體間有渦流產生，可使毒氣捲在其中，縮小擴散範圍。



單一進風口流量 $0.146508 \text{ m}^3/\text{s}$; 單一側排抽風口流量 $0.0504 \text{ m}^3/\text{s}$

單一下排抽風口流量: $0.03696 \text{ m}^3/\text{s}$

圖 4-80 裝有下排抽風口配置之三截面濃度分佈圖

第六章 未來工作方向

1. 將模擬無因次化，模擬可不限於單一尺寸之模型。
2. 探討蓋子掀開時，毒氣之洩漏量，以得不同轉速間毒氣分佈之差異。
3. 圖 4-21~圖 4-26 的網格變形過大，會影響計算精準度，故由此測試模型可知，實際模擬網格的 Maximum Cell Skewness 及 Size Remesh Interval 值必須控制在最佳值，一般而言是將值調小，以確保計算精確度。
4. 嘗試 Remeshing、Layering、Smoothing 法並用模擬移動網格。
5. 將模擬範圍擴展至廠房附加狀態，如廠區的負壓狀態及操作狀態等等。
6. 建立三維移動網格，模擬機械手臂之二段式平移移動。
7. 考慮蓋子非等速轉動之情形。



參考文獻

1. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1105041604642>
<http://www.nownews.com/2005/05/02/10844-1784684.htm>
<http://www.epochtimes.com/b5/1/5/14/n88158.htm>
<http://mtchienb.blogspot.com/2009/08/i018.html>
2. 彭登志, “半導體 Wet Bench 清洗製程火災預防研究-過氧化氫不相容性探討”, 2001, 國立雲林科技大學。
3. 林義凱、劉美娟, “半導體製程排氣之安全管理”, 2005, 半導體科技。
4. 陳朝慶, “無塵室火災模擬”, 2001, 國立中山大學。
5. 陳寶珠, “細水霧滅火系統於應用於濕式清洗台之探討”, 2009, 國立交通大學。
6. Wen-Yao Chang, Ping-Kun Fu, Chiun-Hsun Chen, Yi-Liang Shu, “Performance evaluation of a water mist system in semiconductor wet bench fires”, 2008, Process Safety and Environmental Protection 86。
7. 林義凱、劉美娟, “濕式清洗檯操作危害及安全範圍”, 2003, 半導體科技。
8. Michael Quirk、Julian Serda 著, 羅文雄、蔡榮輝、鄭岫盈譯, “半導體製造技術”, 2004, 滄海書局。
9. 劉博文, “ULSI 製程技術”, 2003, 新文京開發出版。
10. “Wet Bench-清洗蝕刻工作站標準操作程序”, 2007, 國家實驗研究院 國家奈米元件實驗室。
11. 刁建成, “ULSI 製程技術”, 2000, 全華科技出版。
12. 張俊彥、鄭晃忠, “積體電路製程及設備技術手冊”, 1997, 經濟部技術處, 中華民國產業科技發展協進會, 中華民國電子材料與元件協會。
13. 陸忠憲、黃建彰、林慶峰, “數值預測濕式清洗檯上混合對流安全評估”, 勞工安全衛生研究季刊, 1996, 工業技術研究院, 工業安全衛生技術發展中心。
14. Deng-Jr Peng, Yih-Shing Duh, Chi-Min Shu, “Wet bench reactive hazards of cleaning stages in semiconductor manufacturing processes”, 2006, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19。
15. 曹常成, “從高科技廠房工安事故探討火災爆炸預防”, 2007, 工安技術論壇。
16. http://www.ue.com.hk/index.php/Wet_Benches
17. http://www.royalever.com.tw/ProductDoc/IMG_0002.JPG

18. https://spf.stanford.edu/SNF/equipment/wet-benches/images/wbdiff%20hot%20baths%20.jpg/image_preview
19. <http://tw.myblog.yahoo.com/fci-joseph/article?mid=965&prev=971&next=964>
20. http://cse.math.fcu.edu.tw/course/1/html/Chapter2_1.htm
21. Remeshing Strategies for the Dynamic Mesh model in FLUENT.
22. STAR CD tutorials 指導手冊。
23. Jinsong Hua , Kurichi Kumar, Boo Cheong Khoo, Hong Xue, " A numerical study of the interaction of water spray with a fire plume" , 2002 , Fire Safety Journal 37
24. Soonil Nam, " Numerical simulation of smoke movement in clean room environments" , 2000 , Fire Safety Journal 34
25. Z.F. Tian, J.Y. Tu , G.H. Yeoh, R.K.K. Yuen, " On the numerical study of contaminant particle concentration in indoor airflow" , 2006 , Building and Environment 41
26. Alvin C.K. Lai , K. Wang, F.Z. Chen, " Experimental and numerical study on particle distribution in a two-zone chamber" , 2008 , Atmospheric Environment 42
27. W.K. Chow , R. Yin, " A new model on simulating smoke transport with computational fluid dynamics" , 2004 , Building and Environment 39
28. Marc Olivier Abadie , Karim Limam, " Numerical evaluation of the particle pollutant homogeneity and mixing time in a ventilated room" , 2007 , Building and Environment 42
29. Alvin C.K. Lai , K. Wang, F.Z. Chen, " Experimental and numerical study on particle distribution in a two-zone chamber" , 2008 , Atmospheric Environment 42
30. 楊忠霖, " 探討自然對流對活塞之熱傳效益" , 2008 , 國立交通大學
31. 黃玠超, " LCD 面板倉儲系統之流場均勻化研究" , 2007 , 國立交通大學
32. 許友維, " LCD 面板垂直輸送時之動態氣流分析" , 2008 , 國立交通大學
33. 王安慶, " 三維廠區汙染源之數值模擬" , 2001 , 國立交通大學
34. 李進良、李承曦、胡仁喜, " 精通 FLUENT 6.3 流場分析" , 2009 , 化學工業出版社

